



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2012/2013

ATERRO DE SANTO TIRSO: ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE GESTÃO E PROPOSTAS DE AÇÃO

Vítor Manuel Monteiro Figueiredo

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Belmira de Almeida Ferreira Neto

(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Joana Maia Moreira Dias

(Assistente Convidada do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Coorientador académico: Manuel Afonso Magalhães da Fonseca Almeida

(Professor Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Célia Maria Oliveira de Almeida

(Responsável pela Unidade de Produção do Pólo do Vale do Ave da RESINORTE S.A.)

julho de 2013

“O futuro é construído pelas nossas decisões diárias,
inconstantes e mutáveis, e cada evento influencia todos os outros.”

Alvin Toffler

Agradecimentos

A realização deste trabalho não poderia ser concretizada sem a ajuda, apoio e compreensão de algumas pessoas que me auxiliaram neste trajeto de forma direta ou indireta durante a dissertação. A todas elas, o meu muito obrigado.

À Professora Joana Maia Moreira Dias, pelo interesse demonstrado pela temática, entusiasmo na abordagem de diversos temas, pela sua disponibilidade, bem como as suas opiniões relevantes e as suas correções e sugestões que certamente melhoraram o trabalho.

Ao Professor Manuel Afonso Magalhães da Fonseca Almeida, pela sua disponibilidade e pelas suas opiniões sábias de conhecimento que enriqueceram de forma marcável este documento.

Ao Professor Manuel Maria Pacheco Figueiredo, que sempre se demonstrou disponível para colaborar no desenvolvimento de algumas temáticas da tese, opinando sobre o dimensionamento dos sistemas de drenagem.

Ao Professor Alexandre Leite, que sempre se demonstrou disponível para ajudar no desenvolvimento de opiniões sobre determinadas temáticas como questões de natureza geológica e de cariz topográfico.

À Eng^a. Célia Maria Oliveira de Almeida, que me acompanhou a nível empresarial, sempre com uma motivação inigualável, expondo os seus pontos de vista sobre a temática, com opiniões relevantes acerca de procedimentos, correções e sugestões.

Ao Eng.^o Miguel Nuno, que sempre esteve disponível para colaborar, dar opiniões sobre a temática e fornecer informações e documentos relevantes para a realização da tese.

À Eng^a. Joana Teixeira, que sempre colaborou com prontidão, dando opiniões sobre as temáticas desenvolvidas, fornecendo informação relevante para a realização da dissertação e pela sua preocupação no sentido de explicar de forma clara e correta os conceitos transmitidos.

Ao Dr. Nuno Constantino, que sempre se demonstrou disponível para colaborar, dar opiniões relevantes para o desenvolvimento da dissertação, fornecendo informação necessária para elaboração de alguns tópicos.

Ao Sr. Manuel Salgado, que sempre se demonstrou disponível para esclarecer quaisquer dúvidas existentes relacionadas com questões técnicas do aterro de Santo Tirso, demonstrando-se disponível para me fornecer materiais para a realização de algumas tarefas.

Resumo

No presente trabalho foi realizada uma análise de metodologias de gestão de resíduos no aterro de Santo Tirso, apresentando-se propostas de ação no âmbito da diminuição da produção de lixiviados, alternativas de cobertura, controlo de aves e aplicação da técnica “Landfill Mining” para recuperação dos plásticos e metais depositados.

No sentido da diminuição da produção de lixiviados encontrou-se uma solução que se baseia na colocação de telas drenantes sobre uma área superficial de 6 818,84 m², que teoricamente permitirá reduzir a produção de lixiviados em 6 596,5 m³, isto irá permitir poupar mensalmente 708,9 € em custos de tratamento. Realizou-se um dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais, através do recurso a meias canas de betão, tendo-se concluído que seria necessário cerca de 571 m deste material com um diâmetro comercial de 400 mm e com um custo de 1 684,45 €.

Dos diferentes tipos de telas estudadas verificou-se que para a aplicação de uma solução temporária de desvio de águas pluviais em aterro, seria indicada a geomembrana de PEAD de 1 mm da ISOPOL ou BBF cujo custo ronda os 348 €/mês, considerando um período de 6 anos; esta solução poderá também ser utilizada na selagem. No caso de uma solução mais indicada para a selagem a aplicação da geomembrana de 1,5 mm da ISOPOL, cujo custo seria de 447,5 €/mês considerando um período de 6 anos será uma melhor opção. No controlo de aves do aterro de Santo Tirso determinou-se que a melhor solução seria o recurso a serviços de falcoaria (empresa ByMap) durante o dia em 7 dias/semana, sendo o custo associado cerca de 2 992,5 €/mês em 16 meses.

No estudo sobre a cobertura, analisou-se uma tecnologia de aplicação de filme plástico sobre o aterro e a colocação de terras. O que se concluiu foi que na exploração de um aterro são sempre necessárias terras e por isso a melhor solução passa pela aquisição de terras pelo aterro segundo um custo mínimo; tal solução poderá ser viabilizada pela utilização de uma mistura de terra com brita fornecida em Sanfins, tendo esta o custo de 35 € por transporte de 12 t de material. Na abordagem da aplicação da técnica de “Landfill Mining” ao aterro de Santo Tirso, realizaram-se determinações de campo da massa volúmica e a percentagem mássica de plásticos e metais existentes no aterro, na zona mais antiga do aterro e na zona de deposição diária eram de 200,0 kg/m³ e 71% e de 116,9 kg/m³ e 37%, respetivamente. Verificou-se pelos dados obtidos que na zona antiga do aterro existe uma maior quantidade de plástico e metal face a outros materiais, isto porque praticamente toda a matéria orgânica putrescível já se degradou. Pelas caracterizações obteve-se uma quantidade de 314 122,7 t de resíduos de plástico e metal que ocupam pelo menos 247 340,7 m³ no aterro e que poderiam ser aproveitados, podendo resultar no aumento da reciclagem e consequente capacidade de encaixe do aterro.

Espera-se que se possam fazer os testes de validação da recuperação destes materiais num futuro próximo na estação de tratamento mecânico e biológico de Riba de Ave.

Abstract

During the present work, the analysis of waste management methodologies of Santo Tirso's landfill were performed and proposals regarding: the decrease of leachates; cover options; bird control and the application of the "Landfill Mining" technique, allowing the recovery of deposited plastics and metals, were performed.

The presented solution regarding the produced leachates was the application of draining screens over a total surface area of 6,818.84 m², which, in theory, will result in a leachate reduction of 6,596.5m³. This solution will consequently allow saving 708.9 € per month in wastewater treatment costs.

The implementation of a rainwater draining system composed of concrete half pipes was also considered, leading to the conclusion that the installation of such a system would require about 571 m of this material with a commercial diameter of 400 mm, and would result in a total cost of 1,684.45€.

Different draining screens were considered. For a temporary solution based on bypassing rain waters from the landfill, a 1 mm thick HDPE geomembrane from ISOPOL or BFF companies would be the most interesting. This solution would result in a monthly cost of around 348 €. Considering a 6 year period, the above mentioned membranes could also be used for sealing. One other adequate geomembrane for sealing solutions would be ISOPOL's 1.5 mm thick geomembrane, which would result in an estimate cost of 447.5 €/month, considering a 6 year period.

The analysis of viable bird control solutions lead to the conclusion that the best option for Santo Tirso's landfill would be to use falconry services, specifically from ByMap, for 7 days a week. The predicted associated cost for this solution is 2,992.5 €/month for 16 months.

As for coverage solutions, two distinct technologies were considered: the application of a specific plastic coating, or the more common application of soil. The main conclusions obtained were that, since soil is always needed during landfill operations, the best solution would be for Santo Tirso's landfill to acquire soil at the lowest cost possible. This is possible through the use of a soil and gravel mix, obtained at Sanfins; such solution has a transportation cost of 35 € for each 12 t.

In order to evaluate the potential of Landfill Mining techniques in Santo Tirso's landfill, field measurements and calculations were executed in order to determine the density and mass percentage of plastic and metallic materials in the landfill. The calculations yielded results of 200.0 kg/m³ and 71% for the older zone of the landfill and 116.9 kg/m³ and 37% for the daily deposit zone.

The obtained data revealed that there is a higher quantity of plastic and metallic materials in the older zone of the landfill than in the more recent one. This is due to the fact that most of the organic matter that was previously deposited decomposed.

Further calculations resulted in an estimated quantity of 314,122.7 t of plastic and metallic residues that occupy at least 247,340.7 m³ of the landfill's volume. These could be extracted and recycled, resulting in an increase in the landfills capacity and lifetime. Tests on the viability of recuperation processes of these

residues are expected to be executed in a nearby future in the mechanical and biological treatment plant of Riba de Ave.

Índice

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
Notações e Glossário	xix
Lista de Siglas	xix
1.Introdução	1
1.1.Objetivos	2
1.2.Estrutura do Trabalho	2
2.Estado da Arte	5
2.1.Gestão de Resíduos	5
2.2.Deposição em Aterro	8
2.3.Enquadramento Legal.....	13
2.4.Técnicas de Gestão de Aterros	13
2.4.1.Deposição de Resíduos	14
2.4.2.Produção de Lixiviados e Biogás	15
2.4.3.Controlo de Aves	16
2.4.4.Cobertura Diária	18
2.4.5.“Landfill Mining”	19
3.RESINORTE S.A.	23
3.1.RESINORTE S.A. – Pólo do Vale do Ave.....	23
3.2.Caracterização dos Resíduos Rececionados no Pólo do Vale do Ave.....	24
3.3.Aterro de Santo Tirso.....	27
3.3.1.Generalidades	27
3.3.2.Caracterização dos Resíduos Rececionados e Depositados	29
3.3.3.Modo de Enchimento.....	32
3.3.4.Cobertura.....	33
3.3.5.Levantamentos Topográficos	33
3.3.6.Equipamentos Mecânicos	34
3.3.7.Gestão de Lixiviados	34
3.3.8.Gestão de Biogás.....	35
3.3.9.Gestão de Águas Subterrâneas, Superficiais e Pluviais	36
4.Análise e Propostas de Ação	37
4.1.Análise e Propostas de Melhoria da Gestão de Lixiviados	37
4.1.1.Análise da Produção de Lixiviados.....	37

4.1.2.Análise dos Custos de Tratamento de Lixiviados.....	42
4.1.3.Análise da Área para Aplicação de Telas.....	44
4.1.4.Estudo da Escolha das Telas Drenantes.....	54
4.1.4.1.Solução 1 da SOTECNISOL	55
4.1.4.2.Solução 2 da SOTECNISOL	55
4.1.4.3.Solução da ISOPOL – Isolamentos Térmicos e Acústicos.....	56
4.1.4.4.Solução da REEF Industries	56
4.1.4.5.Solução da BBF – Tecnologias do Ambiente	57
4.1.4.6.Solução 3 da SOTECNISOL e HBB GEOSALES	57
4.2.Controlo de Aves	60
4.3.Cobertura Diária.....	63
4.4.“Landfill Mining” no Aterro de Santo Tirso.....	67
5.Conclusões	73
6.Avaliação do Trabalho Realizado	77
6.1.Objetivos Realizados	77
6.2.Limitações e Trabalho Futuro	77
Referências Bibliográficas	79
Anexos.....	83
Anexo I – Plano de Monitorização, Composição Típica e Qualidade Analítica dos Lixiviados no Aterro de Santo Tirso	83
Anexo II – Constituintes Típicos do Biogás	90
Anexo III – Dados Meteorológicos dos anos 2010, 2011 e 2012	91

Índice de Figuras

Figura 1 - Hierarquia da gestão de resíduos. (adaptado de Ferrão e Pinheiro (4))	5
Figura 2 - Produção de resíduos urbanos (kg/hab). (adaptado de Instituto Nacional de Estatística (6))	6
Figura 3 - Sistemas de gestão de resíduos urbanos existentes em Portugal em Janeiro de 2011. (9)	8
Figura 4 - Aterro confinado em depressão. (adaptado de Levy e Cabeças (3))	9
Figura 5 - Balanço hídrico de um aterro controlado. (adaptado Martinho e Gonçalves (1))	11
Figura 6 - Aplicação de redes para controlo de aves num aterro no Reino Unido. (adaptado de Baxter (17))	17
Figura 7 - Capitação diária de resíduos urbanos produzidos. (25; 26; 27)	27
Figura 8 - Zona de entrada no aterro de Santo Tirso.....	28
Figura 9 - Quantidade de resíduos depositados no aterro de Santo Tirso (1995-2012) em toneladas.	30
Figura 10 - Terras de cobertura do aterro de Santo Tirso	33
Figura 11 - Levantamento topográfico de Dezembro de 2012.....	34
Figura 12 - Meia cana usada no aterro de Santo Tirso.....	36
Figura 13 - Lixiviado produzido e precipitação ocorrida em 2010.....	39
Figura 14 - Lixiviado produzido e precipitação ocorrida em 2011.....	39
Figura 15 - Lixiviado produzido e precipitação ocorrida em 2012.....	40
Figura 16 - Taludes para futura aplicação de telas drenantes.....	44
Figura 17 - Instrumentos utilizados na medição topográfica (Martelo, Espeto e Trana).....	45
Figura 18 - Local do aterro usado para a obtenção da área plana.....	46
Figura 19 - Local de correlação e local para aplicação de telas (DraftSight).....	47
Figura 20 - Canal de secção geométrica circular. (adaptado de Novais Barbosa,J (37)).....	50
Figura 21 - Indicação dos taludes e zonas de confluência de caudais.....	51
Figura 22 - Indicação da direção de escoamento de águas pluviais.....	51
Figura 23 - Zona de confluência de caudais do sistema de dimensionamento.....	53
Figura 24 - Meia cana de betão utilizada nas drenagens de águas pluviais. (38)	53
Figura 25 - Tela drenante <i>Griffolyn® TX-1600 i.</i> (41).....	56
Figura 26 - Tecnologia "Cover Up & Net Down" para drenagem de águas pluviais.....	57
Figura 27 - Gaivotas a sobrevoar o aterro de Santo Tirso em 2013.....	60
Figura 28 - Sistema de dispersão de aves Compact 1312.....	61
Figura 29 - Sistema de dispersão de aves Compact 1313.....	61
Figura 30 - Equipamento "Deployer" 616, aplicado a uma pá carregadora de rastos.....	64
Figura 31 - Corte transversal de um talude do aterro.....	67
Figura 32 - Local de realização de amostragens na zona de deposição (à esquerda). Local de realização de amostragens na zona mais antiga (à direita).....	67

Figura 33 - Material utilizado na realização das amostragens (balança, pá e balde).68

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Localização das instalações por concelhos no pólo do Vale do Ave.....	23
Tabela 2 - Quantidades resíduos rececionados no pólo do Vale do Ave em 2010, 2011 e 2012.	25
Tabela 3 - Dados quantitativos da recolha seletiva no pólo do Vale do Ave em 2010, 2011 e 2012.	26
Tabela 4 - Quantidade de resíduos depositados no aterro de Santo Tirso de 1995 a 2012.....	30
Tabela 5 - Quantidade de resíduos rececionados e depositados no aterro de Santo Tirso em 2010, 2011 e 2012.....	31
Tabela 6 - Dados dos levantamentos topográficos de 2010 a 2011.....	33
Tabela 7 - Quantidade de lixiviados produzidos e precipitação ocorrida.....	38
Tabela 8 - Dados meteorológicos e quantidade de lixiviados nos anos de 2010, 2011 e 2012.	41
Tabela 9 - Quantidade de lixiviados tratados e respetivo custo de tratamento para os diferentes aterros em 2012.....	43
Tabela 10 - Áreas superficiais obtidas através do levantamento topográfico manual.	45
Tabela 11 - Área superficial do local de correlação.	47
Tabela 12 - Comprimento médio das pendentes dos taludes dos dois locais do aterro.....	48
Tabela 13 - Valores obtidos das áreas horizontais dos taludes do local de aplicação de telas.....	48
Tabela 14 - Valores de caudal e diâmetro obtidos para o sistema de drenagem da base do primeiro talude.	52
Tabela 15 - Valores de caudal e diâmetro obtidos para o sistema de drenagem da base do segundo talude.	52
Tabela 16 - Preço da meia cana de betão de 400 mm.	53
Tabela 17 - Valores teóricos de redução da produção de lixiviados.....	54
Tabela 18 - Custos mensais de colocação de telas e valor de poupança mensal no custo de tratamento de lixiviados.	58
Tabela 19 - Custo das soluções de controlo de aves.	62
Tabela 20 - Custo da aplicação da tecnologia de cobertura diária aplicada ao aterro de Santo Tirso.	65
Tabela 21 - Custos de transporte de terras por hora.	66
Tabela 22 - Custo de aquisição de terras em dois proprietários.....	66
Tabela 23 - Massa volúmica de plástico e metal na zona antiga do aterro.	68
Tabela 24 - Massa volúmica de plástico e metal na zona de deposição diária.	68
Tabela 25 - Percentagem mássica de plástico e metal na zona de deposição diária.....	70
Tabela 26 - Percentagem mássica de plástico e metal na zona antiga.	70

Notações e Glossário

<i>A</i>	<i>área</i>	<i>m²</i>
<i>S</i>	<i>área da secção molhada</i>	<i>m²</i>
<i>Q</i>	<i>caudal</i>	<i>m³/s</i>
<i>C</i>	<i>coeficiente de escoamento</i>	
<i>I</i>	<i>intensidade de precipitação</i>	<i>mm/h</i>
<i>Ks</i>	<i>coeficiente que depende da natureza do canal de escoamento</i>	<i>m^{1/3}/s</i>
<i>i</i>	<i>inclinação</i>	<i>m/m</i>
<i>t</i>	<i>tempo de escoamento</i>	<i>min</i>

Lista de Siglas

CBO - Carência Biológica de Oxigénio
 CQO - Carência Química de Oxigénio
 DL - Decreto de Lei
 ETAL - Estação de Tratamento de Águas Lixiviantes
 ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais
 REEE - Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
 PEAD - Polietileno de Alta Densidade
 PEBD - Polietileno de Baixa Densidade
 PE - Polietileno
 PET- Politereftalato de etileno
 PVC - Policloreto de vinilo
 REU - Resíduos Equiparados a Urbanos
 RU - Resíduos Urbanos
 RUB - Resíduos Urbanos Biodegradáveis
 TMB - Tratamento Mecânico e Biológico

1.Introdução

A população mundial produz todos os dias grandes quantidades de resíduos que tem de ser geridos corretamente. Com o aumento da população mundial ocorre um aumento da quantidade de resíduos produzidos, agravando os problemas relacionados com a sua gestão. A importância da gestão de resíduos está relacionada com problemas de saúde pública, ambientais e económicos. (1)

Desde os tempos mais antigos até à atualidade, que a prática de lançar resíduos “pela porta fora” nas habitações era comum. Contudo estas ações trouxeram consequências muito nefastas como o aparecimento da epidemia Peste Negra, que foi responsável pela morte de metade da população da Europa no século XIV. (1; 2)

Na atualidade, quer nos países desenvolvidos como subdesenvolvidos, a gestão dos resíduos é uma das grandes preocupações. Uma errada gestão dos resíduos pode originar diversos problemas ambientais, assim como problemas de saúde humana.

No que diz respeito aos problemas ambientais, os resíduos depositados indiscriminadamente num determinado local podem originar a contaminação do solo, por exemplo, através da lixiviação de substâncias tóxicas presentes nos resíduos quando estes contactam com água. As águas lixiviantes ao infiltrarem-se no solo podem também provocar a contaminação de águas subterrâneas. Adicionalmente, a deposição não controlada de resíduos em determinados locais pode gerar a ocorrência de incêndios que libertam para a atmosfera gases poluentes.

No que diz respeito à saúde humana, uma gestão inadequada dos resíduos pode originar impactos negativos na saúde pública, uma vez que pode ocorrer a transmissão de doenças e infeções por roedores, aves, insetos entre outros, podem ocorrer malformações nos fetos devido à ingestão de água contaminada, a exposição a radiações oriundas de resíduos radioativos pode originar cancro, a triagem inadequada de resíduos e a queima não controlada de resíduos pode originar problemas respiratórios. O facto de se depositarem resíduos sem controlo num determinado local pode ainda provocar odores, barulho e outros inconvenientes.

Essencialmente nos países desenvolvidos, tais como na Inglaterra e nos Estados Unidos da América começaram a compreender que determinadas doenças e epidemias ocorriam devido à inexistência de uma gestão correta dos resíduos. Na Inglaterra desenvolveram-se as primeiras incineradoras de resíduos, só depois surgiu o conceito da deposição em lixeiras e vazadouros e posteriormente aterro controlado. Mais tarde, nos anos 70, começou a surgir o conceito de reciclagem, com empresas que compravam materiais passíveis de serem reciclados. Nos anos 80 surge uma revolução nas tecnologias e práticas de gestão de resíduos. Em Portugal até final dos anos 90, os resíduos eram depositados em lixeiras sendo queimados a céu aberto. (1; 2)

Atualmente um dos principais destinos finais dos resíduos urbanos é a deposição em aterro (em Portugal, sem dúvida o principal), que segundo o Decreto de Lei nº 183/2009 de 10 de Agosto é uma instalação de

eliminação de resíduos através da sua deposição acima ou abaixo da superfície natural. Para o correto funcionamento destas infraestruturas é necessário o cumprimento de determinadas exigências técnicas como a impermeabilização da base e dos taludes, proteção de águas subterrâneas, controlo de lixiviados produzidos, controlo de biogás, controlo da deposição de resíduos e de outras questões relacionadas com a própria exploração do aterro, de acordo com os requisitos legais. Independentemente dos requisitos legais, uma gestão correta passa pela aplicação das melhores técnicas de deposição e compactação de resíduos de forma a estender ao máximo o tempo de vida útil de um aterro, realizar um controlo adequado da produção de lixiviados no sentido de diminuir a sua produção tendo em vista a diminuição dos impactes ambientais e custos de tratamento. Quando possível deve-se também aproveitar o biogás, nomeadamente para produção de energia térmica/elétrica de forma a garantir também valorização energética. Deve-se ainda realizar uma correta cobertura diária da célula e um controlo de aves e roedores (possíveis vetores de doenças) adequado, para que não se originem problemas de saúde pública. (3)

Neste trabalho procura-se analisar a gestão de resíduos no aterro de Santo Tirso e adequar e propor ações que permitam uma gestão mais correta deste aterro.

1.1.Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar metodologias de gestão no aterro de resíduos urbanos de Santo Tirso e apresentar propostas de ação.

Nesse sentido, pretende-se apresentar soluções de melhoria nos diferentes domínios de intervenção no aterro centrando na gestão de lixiviados, tendo em vista a redução dos custos associados ao seu tratamento e a diminuição do impacto ambiental. Serão avaliadas outras vertentes, tais como o controlo de aves no aterro, a cobertura diária e a gestão da zona mais antiga do aterro, que se apresenta estabilizada.

1.2.Estrutura do Trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em seis capítulos principais, referências bibliográficas e anexos.

No primeiro capítulo encontra-se a introdução, onde se realiza uma abordagem geral da gestão de resíduos e de infraestruturas como aterros, e apresentam-se também os objetivos e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, que é designado de estado da arte, aborda-se a gestão de resíduos na Europa e em Portugal, questões teóricas de relevância sobre a deposição em aterro, enquadramento legal e ainda as práticas atuais da gestão de aterros.

No terceiro capítulo intitulado de RESINORTE S.A. apresenta-se a empresa onde foi desenvolvido o trabalho, o pólo do Vale do Ave e o aterro de Santo Tirso.

No quarto capítulo, designado de avaliações e propostas de melhoria, apresentam-se análises e propostas de ação no âmbito gestão de lixiviados, controlo de aves, cobertura da célula diária e apresenta-se o estudo sobre a aplicação da tecnologia “Landfill Mining” ao aterro de Santo Tirso.

No quinto capítulo apresentam-se as conclusões da dissertação e por fim no sexto capítulo efetua-se uma avaliação ao trabalho realizado assim como propostas de trabalho futuro.

2.Estado da Arte

2.1.Gestão de Resíduos

Atualmente, na Europa, existe uma política que visa a correta gestão de resíduos, em que estes podem ser reciclados para produção de novos materiais, valorizados organicamente, valorizados energeticamente e os que não tenham outra alternativa de gestão ou resultem dos processos anteriores podem/devem ser encaminhados corretamente para aterro controlado de acordo com as suas características. O Decreto de Lei nº 73/2011 de 17 de Junho, que altera e republica o DL 178/2006 de 5 de Setembro, e transpõe a Diretiva Europeia 2008/98/CE, estabelece o regime geral de gestão de resíduos atual e define as opções de prevenção e gestão de resíduos urbanos para Portugal, de acordo com as diretrizes ao nível Europeu.

A hierarquia da gestão de resíduos (Figura 1), que segundo o Artigo 7º do Decreto de Lei nº 73/2011, define que em primeiro lugar se deve prevenir e reduzir a produção de resíduos, de seguida efetuar a reutilização, reciclagem, outro tipo de valorização tal como a energética e por fim a eliminação, mais correntemente em aterro controlado. (4)

A união europeia remete para que os seus estados membros canalizem os seus esforços no sentido de atuar sobre o primeiro

tópico, a prevenção e redução da produção de resíduos. Sendo que as ações passam, por exemplo, por uma maior valorização dos resíduos orgânicos biodegradáveis na fonte. (5)

Os resíduos produzidos podem ser de diversas tipologias sendo que de acordo como Decreto de Lei nº 73/2011, os resíduos podem ser classificados como resíduos urbanos, resíduos hospitalares, resíduos industriais, resíduos agrícolas, resíduos inertes, resíduos perigosos e resíduos de construção e demolição. O resíduo urbano é “qualquer resíduo proveniente das habitações, bem como outro resíduo que pela sua natureza ou composição, seja semelhante aos resíduos provenientes das habitações”.

Em 1996, em Portugal, iniciou-se a elaboração do Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), que estava previsto no Decreto de Lei nº 310/95 que advinha da Diretiva Quadro dos Resíduos (Diretiva 75/442/CEE), que impunha a obrigatoriedade de caracterizar os resíduos produzidos, efetuar uma gestão correta destes e ainda garantir um destino adequado a esses resíduos. (2)

Atualmente o plano de gestão em vigor é o PERSU II, que preconiza a estratégia de gestão de resíduos urbanos para o período de 2007 a 2016 incluindo objetivos, metas e ações para o setor dos resíduos



Figura 1 - Hierarquia da gestão de resíduos. (adaptado de Ferrão e Pinheiro (4))

através de legislação nacional e comunitária. Este documento estabelece metas para o desvio de resíduos urbanos biodegradáveis de aterro nomeadamente para centrais de valorização orgânica (maioritariamente estações de tratamento mecânico e biológico, com valorização por compostagem ou digestão anaeróbia) e metas de valorização de resíduos de embalagem (Decreto de Lei nº 366-A/97). Estabelece também metas no sentido de redução da quantidade de resíduos, redução da perigosidade de resíduos, realização de campanhas de sensibilização, gestão da informação sobre resíduos urbanos e metodologias de caracterização de resíduos urbanos. (4)

O plano estratégico para os resíduos sólidos (PERSU II) define que em 2016 deve-se atingir a meta dos 4,768 milhões de toneladas de RU produzidos. Na Figura 2, encontra-se a evolução da produção de resíduos urbanos em Portugal e na UE 27, de 1995 a 2011. (4; 6)

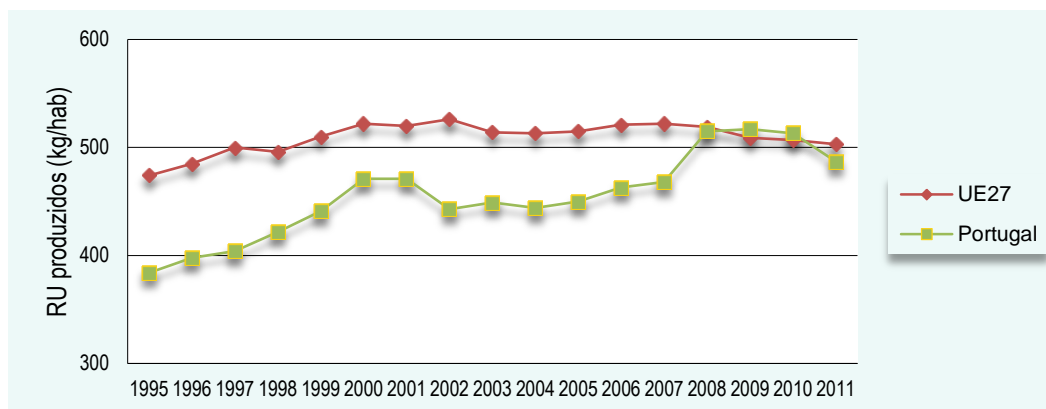


Figura 2 - Produção de resíduos urbanos (kg/hab). (adaptado de Instituto Nacional de Estatística (6))

Através da Figura 2, verifica-se que de 1995 a 2008 a produção de resíduos urbanos em Portugal foi sempre inferior à média Europeia, contudo em 2008, 2009 e 2010 a capitação aproximou-se da média Europeia. Em 2011 a produção de resíduos urbanos voltou a ser menor que a média Europeia, sendo esta situação geralmente atribuída à situação económica nacional atual. (6)

Em 2011 a produção de resíduos foi de 4,894 milhões de toneladas, que representa um decréscimo de 6% relativamente ao ano de 2010. A capitação anual de 2011 foi de 487 kg/hab/ano, correspondendo a uma capitação diária de 1,33 kg/hab/dia. Dos valores avançados, 84,4% corresponde à recolha indiferenciada e 15,6 % à recolha seletiva que aumentou 9% relativamente a 2010. A nível europeu (UE 27), a capitação anual foi de 503 kg/hab/ano, o que é um pouco superior ao verificado em Portugal, que produziu menos 4% que o total da União Europeia. (7)

A deposição em aterro consistiu no destino preferencial dos resíduos urbanos, sendo que 58% dos resíduos produzidos em Portugal continental no ano 2011 foram depositados em aterro o que representa uma diminuição de 3% face a 2010. Dos restantes resíduos produzidos, 20% tiveram como destino a incineração para recuperação energética, 14 % corresponderam à recolha seletiva tendo em vista a reciclagem e por fim 9% correspondeu à valorização orgânica por compostagem e digestão anaeróbia.

Verificou-se um aumento dos resíduos encaminhados para esses destinos comparativamente a 2010, em cerca de 2%, 1% e 1%, respetivamente. (7)

Dos resíduos urbanos produzidos no ano de 2011, 54% foram resíduos urbanos biodegradáveis, destes, 63% foram encaminhados para aterro, 21% sofreram valorização energética, 10% sofreram valorização orgânica e 6% de RUB foram reciclados. (7)

Em Abril de 2013 foram lançados os dados referentes a 2012 e a produção de resíduos urbanos foi de 4,528 milhões de toneladas, o que representa uma redução de 7,5% em relação a 2011. A captação anual foi de 451 kg/hab/ano sendo a captação diária de 1,2 kg/hab/dia. Isto significa que as metas para 2016 do PERSU II já foram atingidas em 2012. No entanto não existe para já mais dados sobre o ano de 2012. (8)

Os resíduos após serem recolhidos podem ter vários destinos, podem ser reciclados para produção de novos materiais, sofrer valorização orgânica através de compostagem ou digestão anaeróbia, incineração com produção de energia térmica/elétrica, ou depositados em aterro. (3)

Em Portugal, os resíduos urbanos são geridos pelos Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU), que possuem meios humanos, logísticos, equipamentos e infraestruturas para efetuar a referida gestão.

Os sistemas de gestão de resíduos podem ser multimunicipais e intermunicipais. Os multimunicipais são constituídos por dois ou mais municípios, cuja gestão pode ser concessionada a uma associação de municípios ou a uma entidade pública empresarial e o investimento é predominantemente realizado pelo Estado. Nos intermunicipais, o investimento e gestão é realizada diretamente por associação de municípios ou por empresas privadas. (5)

No início de 2011 existiam 23 SGRU, sendo que 12 eram multimunicipais e 11 eram intermunicipais, estes sistemas tem capacidade para assegurar um destino correto aos resíduos. (9)

Os resíduos urbanos são constituídos por fração orgânica, inorgânica e fluxos específicos. A parte orgânica refere-se a restos de comida, papel/cartão, plásticos, tecidos, borracha, madeira e resíduos de jardim. A parte inorgânica refere-se a vidros, latas, alumínio e materiais ferrosos. Por fim temos os fluxos específicos, que carecem de gestão dedicada, tendo legislação própria, tais como os resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos, os pneus e os óleos minerais. (10). Deve no entanto ser referido que o fluxo de embalagens engloba constituintes da fração orgânica e inorgânica dos resíduos urbanos.

Na Figura 3, apresentam-se os 23 sistemas de gestão de resíduos urbanos existentes em Janeiro de 2011. (9)

- 1 - VALORMINHO
- 2 - RESULIMA
- 3 - BRAVAL
- 4 - RESINORTE
- 5 - Lipor
- 6 - Valsousa (Ambisousa)
- 7 - SULDOURO
- 8 - Resíduos do Nordeste
- 9 - VALORLIS
- 10 - ERSUC
- 11 - AMR do Planalto Beirão (Ecobeirão)
- 12 - RESIESTRELA
- 13 - VALNOR
- 14 - VALORSUL
- 15 - Ecoleziria
- 16 - Resitejo
- 17 - Amtres (Tratolixo)
- 18 - AMARSUL
- 19 - Amde (Gesamb)
- 20 - Amagra (Ambilital)
- 21 - Amcal
- 22 - Amalga (Resialentejo)
- 23 - ALGAR



Figura 3 - Sistemas de gestão de resíduos urbanos existentes em Portugal em Janeiro de 2011. (9)

Na Figura 3, observa-se com o número 4 a RESINORTE S.A., empresa multimunicipal que se distribui em 4 pólos, sendo um deles o pólo do Vale do Ave.

Em 2011, existiam em Portugal Continental cerca de 33 aterros de resíduos urbanos, sendo que 1 se encontrava à espera de licença de exploração, segundo fonte da agência portuguesa do ambiente.

2.2.Deposição em Aterro

Segundo o Decreto de Lei nº 183/2009 de 10 de Agosto, um aterro é uma instalação de eliminação de resíduos através da sua deposição acima ou abaixo da superfície natural. Os aterros são legalmente classificados quanto à tipologia de resíduos depositados, existindo também a distinção quanto à topografia do confinamento e a forma de deposição de resíduos. (3)

De acordo com o DL 183/2009, os aterros podem ser classificados como aterros para resíduos inertes, não perigosos e perigosos. No âmbito do presente trabalho, têm especial atenção os aterros de resíduos não perigosos, onde são depositados resíduos que não são inertes nem apresentam nenhuma das características de perigosidade constantes do DL 73/2011. (3)

Em função da origem dos resíduos depositados, os aterros de resíduos não perigosos são essencialmente classificados como aterros de resíduos urbanos e aterros de resíduos industriais banais.

Em função da topografia do confinamento, segundo a relação entre a base do aterro e a superfície do terreno, os aterros podem ser classificados como aterro de superfície (não enterrado), aterro em trincheira (enterrado ou semi-enterrado) ou aterro em depressão.

Importa referir o aterro em depressão (Figura 4), que consiste num aterro que é construído em depressões naturais ou artificiais, de forma a aproveitar as depressões existentes em antigas pedreiras e explorações mineiras, ravinas entre outras, tendo em vista um menor custo de investimento e por vezes até de reabilitação (como em alguns casos de aterros de resíduos inertes). (3)

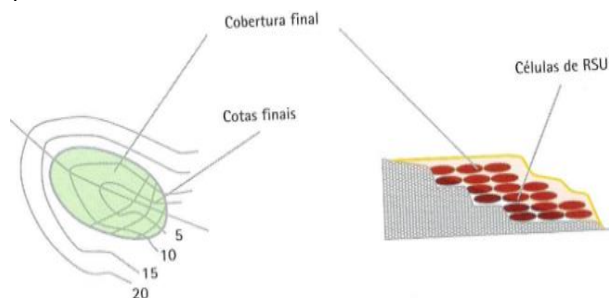


Figura 4 - Aterro confinado em depressão. (adaptado de Levy e Cabeças (3))

Os aterros têm de obedecer a requisitos mínimos segundo o Anexo 1 do Decreto de Lei nº 183/2009, que no caso de aterros de resíduos não perigosos e dependendo do tipo de resíduos, os requisitos prendem-se com a existência de um sistema de proteção ambiental passivo (barreira de segurança passiva), sistema de proteção ambiental ativo (barreira de impermeabilização artificial, sistema de drenagem de águas pluviais, sistema de drenagem e recolha de lixiviados, sistema de drenagem e tratamento de biogás), sistema de selagem final (camada de drenagem de gases, barreira de impermeabilização artificial, camada mineral impermeável, camada de drenagem e cobertura com material terroso) e instalações e infraestruturas de apoio (vedação, portão, vias de circulação, queimador de biogás).

A exploração de um aterro tem de ser adequada à topografia, geologia e hidrologia do terreno. Um aterro controlado é uma infraestrutura complexa que necessita de uma impermeabilização adequada das paredes laterais e da base dos taludes. Existem diferentes tipos de sistemas de impermeabilização que são aplicados dependendo do tipo de resíduos, estes podem ser simples, duplos ou complexos. Estes sistemas distinguem-se pelo número de barreiras proteção passivas e ativas a aplicar.

Contudo, o normal no caso de resíduos urbanos é encontrar um sistema de impermeabilização simples constituído por geocompósito bentonítico, geomembrana de PEAD, geotêxtil não tecido, georede, outra camada de geotêxtil não tecido e solo. (10)

Na fase de exploração de um aterro, este é dividido em células, e estas são por sua vez divididas em alvéolos. Existem vários tipos de operações de gestão do aterro tendo em vista a obtenção um aproveitamento máximo do volume em aterro, bem como assegurar uma degradação adequada dos resíduos. Em termos de metodologias de deposição de resíduos em aterro, pode-se distinguir o método natural, método por enfardamento, método misto e método de trituração prévia dos resíduos. No âmbito do trabalho é importante referir o método natural, neste caso os resíduos são depositados em bruto na célula diária do aterro de forma direta pelas viaturas de transporte. (3)

Depois são compactados e misturados através da maquinaria existente, que usualmente é a máquina pés de carneiro, máquina giratória escavadora de rastos e pá carregadora de rastos. Os equipamentos mecânicos são fundamentais para o funcionamento correto do aterro, pois estes permitem efetuar as compactações necessárias para a diminuição do volume de resíduos e para um melhor aproveitamento do aterro.

Os resíduos são sucessivamente depositados, evoluindo em altura e preenchendo a volumetria de acordo com o arranjo espacial planeado, até atingir as cotas finais de enchimento. A densidade máxima teórica dos resíduos alcançados por este método é de 600 a 800 kg m⁻³. (3)

Com a deposição de resíduos urbanos em aterro, ocorre a degradação dos mesmos gerando-se dois produtos, o lixiviado e o biogás. (3)

Os lixiviados são líquidos que percolam através dos resíduos depositados e que efluem de um aterro (na forma de lixiviados) ou nele estão contidos. Os lixiviados resultam do processo de degradação dos resíduos e da própria água contida nos resíduos mas são sobretudo produzidos pelas águas pluviais que se infiltram. Os lixiviados apresentam um acentuado odor, cor escura e possuem uma elevada carga orgânica, traduzindo-se em elevados valores de CBO₅ e CQO, microrganismos patogénicos, contendo também normalmente metais pesados, outras substâncias tóxicas (nitratos, fenóis, carbonatos/bicarbonatos entre outras) e gases. (3)

As águas exteriores ao aterro tem grande influência na quantidade e qualidade dos lixiviados produzidos, essas podem ser águas pluviais ou águas de escorrência. Quanto maior a quantidade dessas águas maior é quantidade de lixiviados produzidos. (3)

Os aterros têm dois tipos de cobertura, a diária e a final. A cobertura final ou selagem consiste num conjunto de camadas que se aplicam quando já não se realizam operações de deposição de resíduos. A cobertura diária dos resíduos depositados é importante para evitar a proliferação de roedores, aves, insetos e ainda evitar que materiais leves sejam levados pelo vento. (10)

O material de cobertura diária tem impacto na qualidade e quantidade de lixiviados produzidos. Quando se trata de solos arenosos a camada a colocar deverá ter uma maior espessura devido à reduzida permeabilidade. As terras de cobertura ideais são as terras argilosas pois possuem uma baixa permeabilidade, impedindo a infiltração de águas. (1; 3)

Para que haja uma maior consciência na influência das águas pluviais e de escorrência na produção de lixiviados, apresenta-se na Figura 5, o balanço hídrico de um aterro. (1)

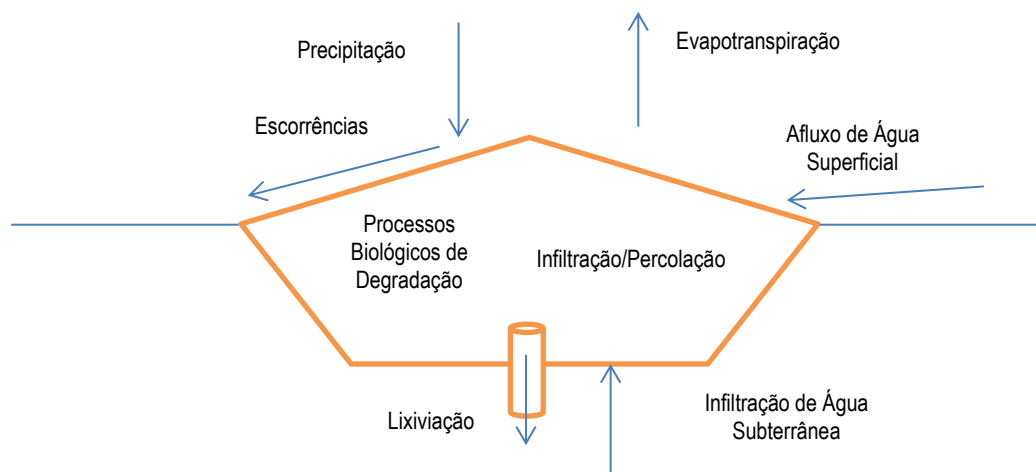


Figura 5 - Balanço hídrico de um aterro controlado. (adaptado Martinho e Gonçalves (1))

Através da Figura 5, apresenta-se o balanço hídrico que define a circulação de água num aterro. A água de escorrência e o afluxo de água subterrânea é evitado através da rede de drenagem e da impermeabilização das base e das paredes dos taludes. Uma parte da água de precipitação evapora-se sem que ocorra infiltração. As águas superficiais como rios ou ribeiros podem gerar a entrada de água no aterro em casos muito extremos, sendo que normalmente a contribuição destas águas é reduzida. Os processos de degradação de resíduos geram água que acabam por originar lixiviados. Da precipitação ocorrida considera-se que 30% se transforma em lixiviados. (1; 3)

Um aterro de resíduos não perigosos e perigosos tem de possuir obrigatoriamente, segundo o DL 183/2009, um sistema de drenagem de lixiviados, constituído por uma camada mineral drenante com uma espessura mínima de 50 cm. A tubagem que constitui os drenos deve ser de PEAD e ranhurada a meia cana. Também deve possuir a modelação basal de suporte ao sistema de drenagem de lixiviados, que são valas de drenagem que intercetam os lixiviados e encaminham para os poços de captação, lagoa ou tanque de regularização. (3)

Os lixiviados podem ter de ser pré tratados antes de serem encaminhados para uma ETAR, contudo nem sempre ocorre. Existem vários tipos de tratamento que podem ser aplicados como lagoas de regularização, tratamento biológico por lamas ativadas, tratamento físico e químico, osmose inversa, lagoas de macrófitas, lagoas de evaporação, evaporação múltipla, tratamento por carvão ativado entre outras. (3)

No âmbito do presente trabalho, interessa aprofundar o tratamento por osmose inversa e o tratamento físico-químico.

A osmose inversa é um processo que consiste na passagem de líquido através de uma membrana semipermeável (sendo mais comum o uso de acetato de celulose e poliamida) a pressões elevadas (1000 kPa), superiores à pressão osmótica, invertendo esse fenómeno. Assim, o solvente passa de uma solução mais concentrada para uma menos concentrada (neste caso isenta de contaminantes), sendo a concentrada por vezes recirculada no processo, ou seja, bombeada para o topo do aterro. Este processo

tem custos elevados normalmente associados à substituição das membranas e à energia elétrica necessária no processo. (3; 11)

O tratamento físico-químico consiste num processo que envolve coagulação-floculação, sedimentação e oxidação química. Na coagulação-floculação um agente coagulante é adicionado ao lixiviado, originando destabilização química e a aglomeração de colóides e partículas suspensas. Depois ocorre a floculação (adiciona-se um floculante) que é um processo hidrodinâmico que origina a aglomeração em flocos de maiores dimensões e que podem posteriormente ser separados por decantação (sedimentação). Estes processos permitem bons resultados na remoção de compostos inorgânicos, correção de pH, na precipitação de metais pesados (possíveis inibidores de processos biológicos) e remoção de sólidos suspensos. (3)

O tratamento por oxidação química baseia-se em reações de oxidação-redução, utilizando agentes oxidantes tais como ozono (O_3), oxigénio (O_2), cloro (Cl_2), peróxido de hidrogénio (H_2O_2), reagente de fenton (oxidante e catalisador de ferro) entre outros, este último é muito utilizado no tratamento de efluentes. A utilização do tipo de agente de oxidante depende dos custos e da eficácia. A oxidação química permite controlar odores, diminuir a concentração de compostos orgânicos e conteúdos bacterianos e virais. (3)

O biogás advém fundamentalmente da degradação da matéria orgânica dos resíduos, levada a cabo pelos microrganismos anaeróbios através de um processo biológico, podendo também ocorrer por processos físicos (difusão de gases pelo aterro). O biogás não é, naturalmente, produzido em aterros de resíduos inertes, sendo que nas outras classes de aterro a sua produção depende do tipo de resíduos admitidos.

A formação de biogás atravessa fases distintas onde vários microrganismos intervêm, nomeadamente hidrólise/degradação aeróbia, acidogénese, acetogénese, metanogénese e maturação. De acordo com o DL 183/2009, e dependendo do tipo de resíduos admitidos nos aterros, deve existir um sistema que permita a captação e drenagem de biogás. No caso de aterros que recebem resíduos biodegradáveis, o biogás produzido deve ser utilizado de forma a reduzir ao mínimo os efeitos negativos para o ambiente e saúde humana e quando este não pode ser aproveitado para produção de energia deve ser queimado num queimador (por questões de segurança e ambientais). O biogás é fundamentalmente constituído por metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) (cerca de 60% e 40%, respetivamente).

2.3. Enquadramento Legal

Existem vários documentos legais relativos à gestão de resíduos. O Decreto de Lei nº 73/2011 de 17 de Junho, referido anteriormente, estabelece o regime geral da gestão de resíduos atual em Portugal.

Existem ainda outros documentos legais, tais como despachos e portarias, que se referem à gestão de diferentes tipologias específicas de resíduos, como por exemplo o Despacho n.º 19692/2009 (2ª Série), de 27 de Agosto que estabelece a licença para a gestão de um sistema integrado de gestão de pneus usados. É de salientar a Portaria 209/2004 de 3 de Março, que aprova a Lista Europeia dos Resíduos, documento através do qual se realiza a sua identificação/classificação através de um código de 6 dígitos.

O Decreto de Lei nº 183/2009 de 10 Agosto, que revoga o anterior Decreto de Lei nº 152/2002 de 23 de Maio, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 5 de Setembro, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro, estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na conceção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros.

Os requisitos legais mínimos a que os aterros devem obedecer, nomeadamente aterros de resíduos inertes, não perigosos e perigosos foram já referidos anteriormente. No caso dos aterros de resíduos inertes, apenas são obrigados a ter um sistema de proteção ambiental passivo, no sistema de selagem apenas necessitam de cobertura com material terroso e devem possuir instalações e infraestruturas de apoio.

No âmbito de atuação do presente trabalho e tendo em consideração a aplicação de telas drenantes com vista a minimizar a produção de lixiviados, desviando as águas pluviais, não existe nenhuma referência legal a esta questão. Contudo, o DL 183/2009 refere que se deve diminuir a produção de lixiviados sempre que possível, o que apoia indiretamente esta medida. Importa referir que a Agência Portuguesa do Ambiente informou, através de um seu representante numa visita ao aterro de Santo Tirso, que não existe qualquer entrave à aplicação de telas drenantes nos taludes do aterro tendo em vista o desvio de águas pluviais de forma a diminuir a produção de lixiviados.

2.4. Técnicas de Gestão de Aterros

Nesta parte do trabalho abordam-se técnicas de gestão de aterros selecionadas, relativamente à deposição e compactação de resíduos, diminuição de produção de lixiviados, aproveitamento do biogás produzido, controlo de vetores, concretamente aves, cobertura diária e recuperação de resíduos depositados em aterro, através de “Landfill Mining”.

2.4.1. Deposição de Resíduos

Na atualidade existem várias técnicas e ações de deposição que permitem uma melhor gestão e controlo de um aterro. A *International Solid Waste Association* publicou um conjunto de medidas que devem ser seguidas no sentido de uma melhor gestão de um aterro, no que diz respeito ao manuseamento e metodologias de deposição de resíduos, algumas das quais passam a ser apresentadas de seguida. (12)

A célula de deposição diária é a parte mais importante na operação de um aterro. A operação nessa zona afeta a capacidade de encaixe de resíduos e a eficiência do aterro, por isso, é necessário a aplicação das melhores técnicas de deposição e compactação de resíduos para se obter uma gestão correta do aterro. A célula de deposição diária deve ter a menor dimensão possível, de acordo com as quantidades de resíduos depositados e das máquinas disponíveis para compactação. Uma área de trabalho desnecessariamente grande leva a que haja um maior consumo de combustível e origina problemas com vetores de doenças. (12)

Os resíduos a depositar devem ser misturados para ficarem homogêneos, para que a decomposição, formação de biogás, lixiviados e assentamentos sejam uniformes. Os resíduos depositados devem ser espalhados para que as camadas tenham cerca de 300 a 500 mm de espessura, para que a máquina pés de carneiro (normalmente utilizada para a compactação e acondicionamento dos resíduos em aterro) tenha apenas que realizar 3 a 5 passagens, o que é suficiente pois mais passagens não geram um aumento significativo na compactação, contudo depende do tipo de resíduos. (12)

A célula de deposição diária deve também ser bem drenada, o que se consegue evitando a formação de áreas planas, ou seja, fazendo com que o terreno tenha uma pequena inclinação. Em alturas de grande precipitação pode ocorrer a formação de lamas, o que origina problemas de circulação de camiões e máquinas, podendo também comprometer a compactação. (12)

Na deposição de resíduos volumosos que podem ser triturados, estes devem ser colocados na parte superior da célula de deposição, já os outros volumosos que não podem ser triturados devem ser colocados na parte inferior e cobertos por outros resíduos. Os resíduos verdes devem ser separados e misturados com os outros resíduos devido à baixa densidade. (12)

Existem mais observações acerca da correta deposição de resíduos em aterro, segundo a *International Solid Waste Association* e *Eptisa led Consortium*. Sendo que se pretendeu com esta abordagem, mencionar algumas questões de maior relevância para o presente trabalho.

2.4.2. Produção de Lixiviados e Biogás

Os lixiviados resultam do processo de degradação dos resíduos e da própria água contida nos resíduos mas são sobretudo produzidos pelas águas pluviais que se infiltram. Quanto maior a produção de lixiviados maior é o impacto ambiental em termos de tratamento do mesmo, por isso deve-se tomar as medidas possíveis para efetuar uma diminuição da sua produção. (10)

Um aterro não deve estar colocado em locais que possa ocorrer a entrada de água superficial através de encostas, sempre que isso ocorra deve-se colocar em prática medidas de desvio através da construção de diques, bermas e outras estruturas. Em locais de elevada precipitação deve-se desviar essas águas da área do aterro, para reduzir a produção de lixiviados. As atuais práticas existentes são a colocação geomembranas de PEAD, PEBD e PVC que permitam o seu desvio. (12)

Para uma boa gestão de aterro controlado deve-se quando possível efetuar a valorização energética do biogás. Num aterro que não efetue a valorização energética, o biogás produzido é enviado através de drenos para um queimador onde sofre destruição térmica. Para a valorização energética é necessário garantir a qualidade de biogás para queima, através da diminuição da quantidade de oxigénio que entra no aterro, que pode ser conseguida através da colocação geomembranas. Quando é possível a valorização de energética os gases são encaminhados para sistemas de turbinas de vapor, sistemas de motor de combustão interna, sistemas de cogeração ou sistema de geração de turbina a gás. O sistema de cogeração é o mais utilizado e promove a formação de energia elétrica e calor. (10)

Em Portugal a aplicação de telas temporárias para desvio de águas pluviais e consequente diminuição de produção de lixiviados, começa a ser uma prática corrente, contudo não há muitos estudos efetuados. A SULDOURO verificou que seria proveitosa a colocação de telas através da realização de um estudo, onde se avaliou a precipitação ocorrida na zona do aterro e através da aplicação de um fator de segurança determinou-se teoricamente a quantidade de águas pluviais que poderiam ser desviadas. No caso da SULDOURO, o tratamento dos lixiviados consiste num pré-tratamento numa estação de tratamento de águas lixivantes da empresa, sendo que depois são encaminhados para uma ETAR. Os custos associados ao tratamento de lixiviados são elevados, cerca de 12 €/m³ e por isso a telas aplicadas em Sermonde compensam financeiramente, considerando o custo tratamento do lixiviado. As telas aplicadas são geomembranas de PEAD com 1 mm de espessura, que permitem diminuir a produção de lixiviados e também melhorar a produção de biogás, ou seja, em maior quantidade e qualidade o que é importante para uma maior produção de energia elétrica e para garantir níveis de combustibilidade mais eficientes. Note-se que a SULDOURO realiza produção de energia elétrica a partir do biogás do produzido. A SULDOURO considera utilizar essas telas para selagem definitiva do aterro, considerando que as telas são resistentes, não apresentando problemas associados a ação do vento, por outro lado são mais fáceis de colocar devido ao seu menor peso.

Um outro caso em Portugal é o aterro de Celorico de Basto da RESINORTE S.A., em que se colocou uma geomembrana de PEAD numa célula do aterro para permitir uma diminuição da produção de lixiviados mas fundamentalmente para rentabilizar a captação de biogás e realizar a produção de energia elétrica.

Os custos da geomembrana de PEAD de 1 mm rondam os 3,5 €/m² e depreende-se que da sua aplicação a uma determinada área origina a diminuição da produção de lixiviados e consequente diminuição dos custos de tratamento. O que permite facilmente aferir que a aplicação destas telas demonstra ser um investimento viável.

Deste modo compreende-se que para realizar uma gestão adequada de um aterro se deve diminuir a produção de lixiviados e também quando possível, aproveitar o biogás para produção de energia. Assim a colocação de telas em aterro pode ser importante para uma correta gestão de aterros controlados, uma vez que permite diminuir os impactos ambientais e ainda permite obter uma importante fonte de rendimento económico, quando é possível o aproveitamento energético.

2.4.3. Controlo de Aves

Uma problemática que se encontra associada ao funcionamento de um aterro é a existência de aves, que são atraídas pelos resíduos expostos na zona de exploração do aterro, que aquando do consumo dos resíduos em decomposição, podem ser vetores de propagação de doenças, pondo em causa a saúde pública. As gaivotas são aves predadoras e necrófagas, que se encontram normalmente na linha de costa. A população de gaivotas tem aumentado exponencialmente nos últimos anos, assistindo-se a um fenómeno de “gaivotas urbanas” que se alimentam do que resulta das atividades humanas. Tal fenómeno é preocupante pois estes animais causam vários problemas para além dos problemas de saúde pública. Tais como incómodo pelo ruído, originam estragos no revestimento/pintura de edifícios e veículos através dos dejetos, originam o entupimento de caleiras e algerozes com penas e dejetos, restos de alimentos e material usado na construção dos ninhos e podem originar também estragos nas roupas das pessoas. As gaivotas são muito resistentes e inteligentes, adaptando-se a várias situações, estes seres não têm um predador natural o que contribui para o aumento populacional. (13)

A melhor solução passa pela cobertura rápida com terra sobre os resíduos depositados, como anteriormente referido, contudo nem sempre isso é possível. Outras soluções passam pela diminuição da área de deposição, redução da taxa de deposição, aumento da compactação dos resíduos em aterro ou deposição em sacos. (14)

Outros métodos consistem na utilização de canhões de gás (aparelhos que produzem uma explosão regular em intervalos de tempo), sistemas de dispersão visual de aves (balões, bonecos ou aves de rapina), emissão de sons fortes que afugentam as aves (nomeadamente sons de aves em agonia ou de aves predadoras), utilização de redes ou outras barreiras físicas e por fim a utilização física de aves de rapina tais como falcões. (14; 15)

Um estudo realizado nos Estados Unidos da América demonstrou a reação das aves a vários métodos aplicados no sentido de efetuar o seu controlo. Este caso de estudo aplicou-se a um aterro em Kentucky, localizado numa zona industrial, sendo assim um local ideal para as aves, uma vez que não há outras fontes de alimento por perto. (16)

Este estudo revelou que uma das formas de reduzir o número de aves é a diminuição da área de célula de deposição diária, sendo que também se verificou que a colocação de diferentes coberturas diárias, como telas de plástico e composto rejeitado não diminuíram o número de aves em relação à cobertura normal por terra. Verificou-se que o recurso a pirotecnia ou a espingarda levou à diminuição do número de aves no aterro, contudo não se pode usar de forma contínua esta técnica, sendo que também se estudou a aplicação canhões de gás e emissão de sons de aves em agonia, sendo que estas duas técnicas obtiveram bons resultados. (16)

Utilizaram-se também técnicas letais de controlo através de avicidas, o que originou a morte de um grande número de aves, depois com a abertura da época de caça recorreu-se a armas de fogo, obtendo-se bons resultados nos animais que não respondiam à pirotecnia nem a outros métodos. Utilizou-se também um cão que demonstrou ser eficaz apenas no controlo de aves como garças. (16)

Um outro estudo realizado na Inglaterra, pretendeu selecionar as melhores técnicas para o controlo de aves. A metodologia seguida passou pela monitorização das aves existentes, determinação do número de aves na área, implementação da técnica de controlo até se verificar uma habituação (ou falha do equipamento) e posterior monitorização das aves que regressavam. As técnicas abordadas neste projeto foram sistemas de redes, recurso a serviços de falcoaria (utilização de falcões treinados), sistemas visuais de dispersão (balões, pássaros metálicos entre outros), equipamentos de emissão de sons, uso de material pirotécnico e pistolas de pólvora seca. (17)

Após a aplicação de redes (Figura 6), que ocorreu num período de dez semanas no Inverno de 1997/1998, notou-se uma diminuição contínua do número de gaivotas. Com a retirada das redes o número de gaivotas aumentou. Este sistema tem pontos negativos como o reduzido espaço para operação e a ação dos ventos que acabou por originar rasgos na rede, levando à entrada de



Figura 6 - Aplicação de redes para controlo de aves num aterro no Reino Unido. (adaptado de Baxter (17))

gaivotas e corvos, porém no período em que esteve em boas condições demonstrou ser uma técnica eficaz. A aplicação das outras técnicas demonstrou que quando usadas isoladamente causam habituação nas aves. Os sistemas de controlo através de balões e réplicas de aves de presa, não originaram quaisquer efeitos no número de aves. Os sistemas de emissão de sons de aves foram úteis durante o primeiro mês, sendo que depois ocorreu a habituação das aves. O uso de pistolas e de pirotecnia

demonstrou ser uma boa forma dissuasora de aves, sendo que o uso de falcões permitiu bons resultados. (17)

Os resultados demonstraram que a técnica mais eficaz quando usada isoladamente é o recurso a serviços de falcoaria, porém com más condições atmosféricas estas aves não levantam voo, não podendo ser utilizadas. O estudo também revelou que qualquer ação ativa ou passiva não deve deixar de funcionar mais de 3 horas, porque a partir daí a quantidade de aves aumenta no local, devido a uma presença constante de aves que avisam o seu bando. Concluiu-se também que o movimento de aves deve ser estudado, nomeadamente se são aves que se deslocam para o aterro, ou se são aves que se encontram perto do aterro, isto tem influência no tipo de controlo a realizar, ou seja, se é “sol a sol” ou de “manhã à noite”. (17; 18)

Em Portugal, a prática mais utilizada para efetuar o controlo de aves em aterro é através do recurso a serviços de falcoaria. Várias empresas como a Lipor, Valorsul, SULDOURO utilizam esta técnica para efetuar o controlo de aves nos seus aterros. (19)

2.4.4.Cobertura Diária

A cobertura diária, como foi referido, é fundamental para evitar a proliferação de vetores como roedores, moscas e aves, e evitar o arrastamento de materiais leves pelo vento aquando do enchimento do aterro. Contudo, como também já foi referido, é fundamental para a diminuição da produção de lixiviados e para a acumulação de biogás impedindo emissões difusas. A cobertura correta consiste na colocação de uma camada de solo de 150 mm, que deverá ser preferencialmente feita através de terras argilosas, uma vez que são pouco permeáveis. Contudo, nem sempre se consegue arranjar o material de cobertura mais adequado e deste modo utiliza-se o material disponível que pode resultar numa maior produção de águas lixivantes, comparativamente com a utilização de outros materiais. (14)

Por questões económicas, a melhor solução consiste em arranjar fornecimento de terras para cobertura sem que tenha de haver uma compra destas por parte da empresa responsável pelo aterro.

Em Portugal, com o momento de crise que se atravessa, a construção civil estagnou deixando de haver desaterros, o que diminuiu a disponibilidade de terras de cobertura para utilização nos aterros. A título de exemplo, no caso do aterro da SULDOURO (sistema multimunicipal responsável pela valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos), e através de contactos pessoais, sabe-se que não se efetua a colocação diária de terras sobre os resíduos, para rentabilizar o volume disponível para encaixe de resíduos, sendo que após o término do enchimento da célula efetua-se a colocação de uma pequena camada de terra para se colocar de seguida telas drenantes de plástico.

Uma outra solução que tem vindo a ser aplicada em aterros nos Estados Unidos da América é a aplicação de filmes plásticos biodegradáveis que permitem desviar as águas pluviais e evitar a emissão de biogás para a atmosfera. Um aterro em que se aplicou esses materiais foi o de *Puente Hills* na

Califórnia, que ocupa uma área de 522 hectares, sendo assim um aterro de grandes dimensões. Este aterro é do tipo trincheira e recebia grandes quantidades de terra, contudo a dificuldade inerente à sua aplicação e o tempo que se despendia não cumpria os regulamentos da agência de proteção ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA). Deste modo, teve-se que abordar outras formas de cobertura diária, assim surgiu a hipótese da aplicação de um filme para efetuar a cobertura diária. Para essa aplicação necessitava-se apenas de um trator ou máquina de rastos com a aplicação de uma ferramenta que permitia a colocação de rolos de filmes plásticos. À medida que seriam desenrolados, existe também uma pequena quantidade de terra que vai deslizando sobre o filme, fazendo com que este envolva superficialmente os resíduos. Esta tecnologia permitiu um controlo muito mais adequado, nomeadamente de insetos e outros animais. (20)

Para além disso, permitiu diminuir a produção de lixiviados e as emissões de biogás, o que é importante, uma vez que neste aterro ocorre a produção de energia elétrica. (20)

A aplicação deste tipo de cobertura depende do tipo de aterro a que se pretende aplicar pois é necessário analisar de forma cuidada as características dos aterros e também efetuar uma análise custos eficácia. A prática normal ainda é a colocação de uma camada diária de terra sobre os resíduos na zona ativa de deposição.

2.4.5. “Landfill Mining”

Uma técnica utilizada já há muitos anos é a recuperação de resíduos que foram depositados em aterro, principalmente após a sua estabilização, ou seja, após toda a matéria orgânica ter sido completamente degradada, o que levou à existência de uma massa de resíduos de elevado teor de recicláveis e ou combustíveis (tendo em consideração as elevadas quantidades de plásticos presentes nos resíduos), permite assim extrair potencial de reciclagem, valorização energética e ainda uma rentabilização do espaço disponível. Esta técnica, designada de “Landfill Mining”, consiste na escavação de aterros antigos e já encerrados com o intuito de recuperação dos materiais recicláveis, compostáveis e combustíveis com valor económico. Estes tipos de materiais podem ser reciclados poupando-se assim recursos naturais e dinheiro, por outro lado o aterro ganha capacidade de encaixe. (21)

Esta tecnologia pode ser também aplicada em aterros recentes ou aterros mais antigos. Nas aplicações a aterros recentes o intuito é retirar todos os materiais depositados, sejam plásticos, metais e matéria orgânica (resíduos alimentares, papel entre outros), para que todos os resíduos sejam aproveitados. A aplicação da tecnologia a locais de recente deposição de resíduos pode originar problemas associados às escavações de terrenos não consolidados e também ocorrer a libertação de biogás e lixiviados corrosivos. Esta tecnologia é mais viável em aterros ou locais de aterros que já se encontrem mais consolidados e que já não recebam resíduos há muito tempo. Nestes locais a quantidade de matéria orgânica é quase nula, não ocorrendo degradação e produzindo-se pouco biogás e lixiviados velhos.

Assim os materiais encontrados são sobretudo plásticos e metais. Em certos locais, a quantidade de alumínio é muito elevada o que torna apetecível retirar esses materiais. Os plásticos podem ser retirados, limpos, separados e reciclados, contudo podem estar contaminados de tal forma que não seja plausível o aproveitamento. Tendo em consideração o seu poder calorífico, os plásticos podem também ser usados para a produção de energia. (21)

Existem diversos casos de estudo sobre esta tecnologia, contudo, no presente trabalho será abordado o caso de estudo “Closing the Circle Project”, elaborado por uma empresa Belga, a *Group Machiels*. Este estudo iniciou-se em 2007 e terminou em 2010, tendo sido realizado no aterro Remo em Houthalen-Helchteren na Bélgica, onde foram depositados 16 Mt de resíduos industriais e urbanos em quantidades relativamente equivalentes. Este aterro iniciou a exploração em 1970 e possui uma área de 130 hectares. O objetivo consistia na remoção de todos os materiais existentes no aterro e sua posterior valorização que se espera que inicie em 2014. Numa primeira abordagem realizou-se um estudo de caracterização da quantidade de resíduos, da sua tipologia e localização, com subsequente estudo dos materiais que poderiam ser aproveitados para reciclagem e quais as quantidades de materiais que poderiam ser valorizados energeticamente. (22)

Este processo requer a existência de ferramentas e materiais específicos, que consistiram numa máquina escavadora, tratores, carregadoras frontais, camiões, crivo/tambor rotativo (*trommel*) de materiais finos e grossos, íman eletromagnético para separação de metais ferrosos e “sprays” para o controlo de odores. (23)

O processo desenvolvido no aterro de Remo passa pela escavação do local, separação visual, pré-tratamento e separação final (via seca e húmida). O processo de teste passou por várias fases, efetuou-se a escavação de uma zona do aterro, depois efetuou-se uma separação visual (onde se separou plásticos grandes, inertes de grandes dimensões, misturas de resíduos, peças metálicas de grandes dimensões), de seguida realizou-se o pré-tratamento (onde ocorreu a trituração de plásticos, a trituração de inertes, a pré-secagem de metais, a separação de metais ferrosos por eletroímã e separação dos diferentes materiais por tamanhos através de crivos rotativos). Depois ocorreu a separação por via seca (onde se efetuou a separação por diferentes diâmetros, os metais e plásticos com dimensões inferiores a 10 mm, foram encaminhados para a separação húmida, os materiais com dimensões superiores a 10 mm, sofreram separação por sopro de ar (plástico e cartão) e a banda magnética separou os metais ferrosos dos não ferrosos); por fim ocorreu a separação por via húmida (onde se efetuou uma separação por densidades dos metais, uma parte desses metais foi enviada para um crivo rotativo e outra parte seguiu para lavagem onde se recuperou areia, materiais inertes e matéria orgânica e a outra parte dos metais enviada para o crivo, onde se obteve plástico, papel, madeira e têxteis, sendo que também se pode obter matéria orgânica). (22)

Através desta metodologia, 37,6% consistiu na fração para valorização térmica, 6,0% resultou na recuperação direta de materiais como metais e plástico, 17,1% correspondeu à recuperação de materiais

inertes e 39,3% correspondeu à recuperação de materiais finos. Este projeto demonstrou que é possível a recuperação de materiais de aterro, efetuando uma separação adequada para reaproveitamento de metais e valorização energética de plásticos. As terras e os inertes obtidos poderiam depois ser utilizados na cobertura de outros aterros. (22)

Contudo, sabe-se que estes projetos têm muitas limitações uma vez que este tipo de estratégia de gestão requer muita mão-de-obra e maquinaria e a escavação de locais com grande densidade origina problemas associados ao desgaste das máquinas. Outros problemas estão relacionados com a exposição dos trabalhadores e máquinas a gases e lixiviados, exposição a vetores de doenças aquando da escavação e ainda a ocorrência de incêndios. A aplicação da tecnologia depende de um estudo cuidadoso do próprio local, tendo-se em conta a qualidade dos materiais recuperados, a eficácia na separação desses materiais, as condições do aterro em termos de lixiviados e biogás e a existência de mercado para os materiais recuperados porque se não existir mercado essa técnica não viável. (23)

Os custos de aplicação podem ser elevadíssimos se pensar que se tem de comprar material, máquinas, equipamento de segurança pessoal e equipamentos de transporte. Depois ainda existem custos operacionais, que passam pelas operações a realizar, combustíveis e custos de manutenção, despesas administrativas e formação dos trabalhadores. O custo da intervenção no aterro de Reno e construção de infraestruturas irá custar cerca de 230 milhões de euros, gerando 800 postos de trabalho direto por 20 anos. Trata-se de uma intervenção para eliminar um aterro e recuperar a área. (22)

Em Portugal não se realizou nenhum projeto deste género, nem se espera que num futuro próximo se venha a concretizar, pela pesquisa de informação realizada.

3.RESINORTE S.A.

A RESINORTE S.A. consiste num sistema multimunicipal de triagem, recolha, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Norte de Portugal, foi constituída em 2009 através do Decreto de Lei nº 235/2009. A empresa está dividida em quatro pólos, Pólo do Baixo Tâmega, Pólo do Alto Tâmega, Pólo do Vale do Ave e Pólo do Vale do Douro. A sede encontra-se no pólo do Baixo Tâmega, na vila de Celorico de Basto. (24)

A RESINORTE S.A. abrange uma área geográfica de 8 090 km², sendo que serve uma população de cerca de 1 milhão de habitantes de diversos concelhos. Efetua o tratamento de cerca de 350 mil toneladas de resíduos por ano. A empresa tem capitais públicos sendo que 51% pertence à Empresa Geral de Fomento S.A. (EGF) e 49% é distribuído pelos municípios utilizadores do sistema de uma forma direta ou indireta. A RESINORTE S.A. possui diversas infraestruturas de gestão de resíduos entre as quais 6 aterros controlados, 17 ecocentros, 8 estações de transferência, 4 centrais de triagem, 1 central tratamento mecânico e biológico e 1 central vermicompostagem. A RESINORTE S.A. possui ainda uma central de valorização energética de biogás no aterro de Celorico de Basto, que em 2012 produziu 6,426 GW/h. Nos outros aterros da empresa não existe valorização energética de biogás, porém existe um queimador que efetua a queima dos gases produzidos em aterro. Os aterros da empresa estão localizados em: Santo Tirso, Bigorne, Boticas, Celorico de Basto, Guimarães e Vila Real. (24)

3.1.RESINORTE S.A. – Pólo do Vale do Ave

A RESINORTE S.A., está dividida em vários pólos sendo que o aterro de Santo Tirso se encontra no pólo do Vale do Ave. Este pólo tem sede na freguesia de Riba de Ave no concelho de Vila Nova de Famalicão. O pólo abrange cerca de 6 concelhos do Vale do Ave, o concelho de Guimarães, de Vila Nova de Famalicão, de Santo Tirso, de Fafe, da Trofa e de Vizela. Estes concelhos correspondem uma população de 476 854 habitantes que se encontram numa área de 895,4 km². (24)

O pólo do Vale do Ave é constituído por 2 aterros controlados (Santo Tirso e Guimarães), 7 ecocentros, 1 estações de transferência, 1 central de triagem, 1 central tratamento mecânico e biológico e 1 central de vermicompostagem. Na Tabela 1, apresenta-se a distribuição das instalações pelos concelhos. (24)

Tabela 1 - Localização das instalações por concelhos no pólo do Vale do Ave.

	Guimarães	Famalicão	Santo Tirso	Fafe	Trofa	Vizela
Aterro	1	-	1	-	-	-
Ecocentro	2	2	1	1	-	1
Estação de Transferência	-	-	-	1	-	-
Central de Triagem	-	1	-	-	-	-
Central TMB	-	1	-	-	-	-
Central de Vermicompostagem	-	1	-	-	-	-

Pode-se verificar pela Tabela 1, que o concelho onde se encontra um maior número de instalações é o de Vila Nova de Famalicão. Tendo em conta o trabalho realizado interessa retirar algumas informações acerca do tratamento mecânico e biológico efetuado no Pólo do Vale do Ave da RESINORTE S.A. (24)

O tratamento mecânico e biológico realiza o tratamento dos resíduos indiferenciados, sendo um tipo de tratamento que combina processos de tratamento biológico e mecânico. O tratamento biológico permite decompor a matéria orgânica existente e produzir composto.

Este tipo de tratamento inicia quando ocorre a entrada dos resíduos no bioreator e tem o seu término após afinação secundária. O tratamento mecânico permite separar os materiais recicláveis como plásticos, papel e cartão, metais e vidro, a montante do processo. Os resíduos são depositados numa fossa sendo depois encaminhados por duas tremonhas, antes de entrarem no processo mecânico propriamente dito, efetuam processos de triagem manual onde se separam materiais têxteis e volumosos, papel e cartão, filme plástico de grande dimensões e vidro. No processo mecânico existem diversos crivos rotativos, separador balístico, íman magnético para separação de materiais ferrosos e ainda dois separadores óticos que permitem separar filme plástico, refugo e rolantes (embalagens de plástico). Estes últimos seguem para o pavilhão de triagem. O tratamento mecânico e biológico do pólo do Vale do Ave tem capacidade para processar cerca de 30 toneladas/hora de resíduos urbanos. Assim, este tratamento permite separar matéria orgânica, metais ferrosos, PET, PE, plásticos mistos e ECAL, filme, papel e cartão e vidro. Os dados foram fornecidos pela RESINORTE.

3.2.Caracterização dos Resíduos Rececionados no Pólo do Vale do Ave

Nesta parte do trabalho apresentam-se os dados quantitativos dos resíduos rececionados no pólo do Vale do Ave, relativamente aos anos de 2010, 2011 e 2012. Existem determinadas quantidades de resíduos que são produzidos na área do pólo do Vale do Ave mas são encaminhados para outros pólos da RESINORTE S.A..

Na Tabela 2 encontram-se as quantidades totais de resíduos rececionados no pólo do Vale Ave da RESINORTE S.A. nos anos referidos anteriormente. (25; 26; 27)

Tabela 2 - Quantidades resíduos rececionados no pólo do Vale do Ave em 2010, 2011 e 2012.

Resíduos	Quantidade Rececionados em 2010 (t)	Quantidade Rececionados em 2011 (t)	Quantidade Rececionados em 2012 (t)
Resíduos Urbanos Indiferenciados	175 151,60	164 097,78	157 285,58
Resíduos Equiparados a Urbanos	2 336,213	2 418,84	2 264,69
Resíduos de Limpeza Pública	4 813,34	2 274,58	2 640,64
Resíduos Volumosos/Monstros	153,82	8 140	1,46
Resíduos de Construção e Demolição	1 372,60	570,50	1 320,06
Recolha Seletiva	20 935,22	19 700,98	18 438,00
Total (t)	204 762,79	197 202,68	181 950,43

A quantidade total de resíduos produzidos nos três anos foi de 583 915,9 t. (25; 26; 27)

No ano 2010 foram rececionadas 204 762,79 t de resíduos, sendo que 67% foram tratados no pólo do Vale do Ave. No ano 2011, foram rececionadas 197 202,68 t de resíduos, sendo que 63% foram tratados no pólo do Vale do Ave. No ano 2012 foram rececionadas 181 950,43 t de resíduos, sendo que 92% foram tratados no pólo do Vale do Ave. Os resíduos cujo seu destino final não foi o pólo do Vale do Ave, foram encaminhados para outro pólo da RESINORTE. (25; 26; 27)

Dos resíduos urbanos indiferenciados rececionados em 2010, 37% foram encaminhados para outro pólo da RESINORTE S.A. Da quantidade que ficou no pólo do Vale do Ave, 74% foi encaminhado para valorização orgânica e 26% para o aterro de Santo Tirso. Em 2011, 45% dos resíduos urbanos indiferenciados rececionados foram encaminhados para outro pólo da RESINORTE S.A.. Da quantidade que ficou no pólo do Vale do Ave (55%), 69% foi encaminhado para valorização orgânica e 31% para o aterro de Santo Tirso. Em 2012, 8% dos resíduos urbanos indiferenciados rececionados foram encaminhados para outro pólo da RESINORTE S.A.. Da quantidade tratada no pólo do Vale do Ave (92%), 61% foi encaminhado para valorização orgânica e 39% para o aterro de Santo Tirso. (25; 26; 27)

No caso dos resíduos equiparados a urbanos (REU), tais como resíduos verdes, monstros diversos (sofás, mangueiras, colchões entre outros) monstros metálicos, REEE, plásticos duros e vidro plano, em 2010 os REU rececionados foram encaminhados para diversos locais, sendo que 55,02% foram depositados no aterro de Santo Tirso, 21,92% foram vendidos a outras entidades, 11,54% foram enviados para outro sistema de resíduos, 11,50% foram encaminhados para a entidade gestora respetiva e 0,06% foram enviados para empresas privadas. Em 2011 os REU rececionados foram encaminhados para diversos locais, sendo que 74% foram depositados no aterro de Santo Tirso, 16 % foram enviados para

outro sistema de resíduos e 9% foram encaminhados para a entidade gestora. Em 2012, os REU foram encaminhados para diversos locais, sendo que 30% foram depositados no aterro de Santo Tirso, 8% foram vendidos a entidades que não a entidade gestora, 16% foram enviados para outro sistema de resíduos e 45% foram valorizados organicamente. (25; 26; 27)

Os resíduos de limpeza pública, os resíduos volumosos ou monstros e resíduos de construção e demolição rececionados neste pólo, foram encaminhados para o aterro de Santo Tirso. Os monstros são tratados como resíduos urbanos que são recolhidos pelas câmaras municipais e em 2010, 2011 e 2012 as percentagens destes resíduos de construção e demolição usados em arruamentos no aterro de Santo Tirso foram 87%, 60% e 76% respetivamente, as restantes quantidades foram enviadas para aterro de inertes. (25; 26; 27)

Na Tabela 3, apresentam-se os quantitativos obtidos através de recolha seletiva.

Tabela 3 - Dados quantitativos da recolha seletiva no pólo do Vale do Ave em 2010, 2011 e 2012.

Ano	Total (t)	Embalagens (t)	Papel/Cartão (t)	Vidro (t)	Pilhas (t)
2010	20 935,22	3 029,30	5 987,62	11 914,22	4,08
2011	19 700,98	3 016,24	5 347,34	11 332,84	4,56
2012	18 438,00	3 070,64	4 686,34	10 673,22	7,80

Através da Tabela 3, verifica-se que da quantidade total de resíduos obtidos por recolha seletiva nos anos 2010, 2011 e 2012 foi de 59 074,2 t. (25; 26; 27). Estes resíduos advêm de ecopontos e ecocentros.

Em 2010 das quantidades obtidas, 56,91% corresponde à fileira do vidro, 28,6% corresponde a papel/cartão, 14,47% corresponde a embalagens e por fim a recolha de pilhas correspondeu a apenas 0,02% da recolha total. Em 2011 das quantidades obtidas, 57,52% corresponde ao vidro, 27,14% corresponde a papel/cartão, 15,31% corresponde a embalagens e por fim as pilhas recolhidas correspondem a apenas 0,02% da recolha total. Em 2012 das quantidades obtidas, 57,89% corresponde ao vidro, 25,42% corresponde a papel/cartão, 16,65% corresponde a embalagens e por fim as pilhas recolhidas correspondem a apenas 0,04% da recolha total. Estes resíduos provêm de ecopontos e ecocentros da RESINORTE pólo do Vale do Ave.

A partir de processos de triagem de recicláveis e de tratamento mecânico e biológico resultam refugos e rejeitados que têm de ser corretamente encaminhados. Em 2010 produziram-se 72 194,28 t de refugos/rejeitados, sendo que 90% destes resíduos foram encaminhados para o aterro de Santo Tirso, sendo as restantes quantidades encaminhadas para outro pólo da RESINORTE. Em 2011 produziram-se 48 967,40 t, sendo que 16% foram encaminhadas para o aterro de Santo Tirso, as restantes foram encaminhadas para outro pólo da empresa RESINORTE S.A.. Em 2012 produziram-se 37 074,8 t de refugos, sendo que quase toda a quantidade foi encaminhada para o aterro de Santo Tirso. Em termos gerais quase todo o refugo produzido nos três anos advém do tratamento mecânico e biológico, uma vez que em média apenas 2% de refugos advêm da triagem. (25; 26; 27)

É importante compreender a quantidade de resíduos produzidos pelos habitantes dos concelhos que fazem parte da RESINORTE S.A. pólo do Vale do Ave e comparar esses valores com os nacionais. A capitação diária de resíduos produzidos refere-se às quantidades de resíduos urbanos totais, sejam estes indiferenciados ou oriundos da recolha seletiva. As capitações médias diárias referentes ao pólo do Vale do Ave em 2010, 2011, 2012 foram 1,10 kg/hab/dia, 1,06 kg/hab/dia e 1,01 kg/hab/dia, respetivamente, o que mostra um decréscimo anual de cerca 4%. Na Figura 7, encontra-se a comparação entre a capitação diária de resíduos urbanos na RESINORTE, pólo do Vale do Ave e a capitação diária de resíduos urbanos em Portugal continental. (25; 26; 27)

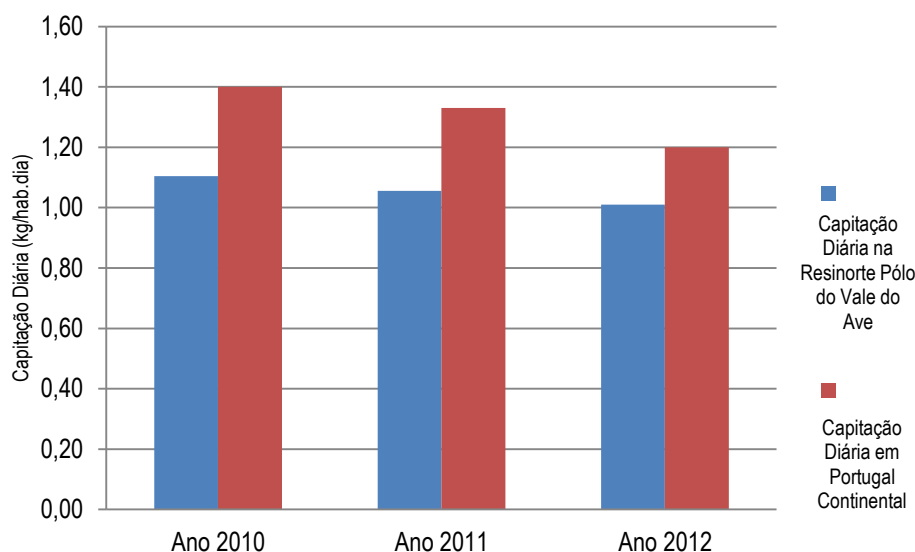


Figura 7 - Capitação diária de resíduos urbanos produzidos. (25; 26; 27)

Através da Figura 7, afere-se que a capitação diária de resíduos urbanos produzidos na RESINORTE pólo do Vale do Ave é inferior à capitação diária em Portugal Continental, estando as diferenças citadas desde 16% e até cerca de 20%. (25; 26; 27)

3.3. Aterro de Santo Tirso

3.3.1. Generalidades

O aterro de Santo Tirso encontra-se localizado na freguesia de Santa Cristina do Couto, a poente do concelho de Santo Tirso. A entrada para o aterro situa-se na estrada municipal 556. Em 1997 converteu-se a antiga lixeira existente no local, num aterro controlado, que seria designado de aterro de Santo Tirso. Este aterro é detentor da Licença Ambiental n.º 373/2010, atribuída a 1 de Abril de 2012 e da Licença de Exploração n.º 09/2009/DOGR, atribuída a 29 de Julho de 2009.

O aterro possui uma capacidade de encaixe de 1 255 000 m³, devido à recente otimização que permitiu um aumento de volume estimado de encaixe de mais 305 000 m³. Atualmente o aterro possui uma célula aberta, o tempo de vida útil do aterro é até 2015. A área em planta do aterro é 67 078 m². (24)

Na Figura 8, encontra-se a entrada para o aterro de Santo Tirso, onde se visualiza a portaria e a EM 556.

O aterro controlado de Santo Tirso abriu em 1997 e neste momento encontra-se em exploração, sendo que em 2005, 2006 e 2007 não ocorreu deposição de resíduos no aterro, uma vez que este se encontrava em obras de rearranjo de forma a aumentar capacidade de encaixe. Nos anos seguintes efetuou-se deposição de resíduos, sendo que



Figura 8 - Zona de entrada no aterro de Santo Tirso

nos últimos anos foi depositada uma maior quantidade com a inativação do aterro de Guimarães.

O aterro de Santo Tirso é constituído por várias infraestruturas que são essenciais ao seu bom funcionamento. As infraestruturas existentes são as seguintes:

- Edifício administrativo e portaria que inclui as instalações de apoio social;
- Unidade de pesagem automática de báscula informatizada;
- Sistema de lavagem de máquinas e lava-rodas;
- Parque de estacionamento para viaturas ligeiras;
- Rede de abastecimento de água, rede de incêndio e rede de rega;
- Rede de drenagem de águas pluviais e águas residuais domésticas;
- Rede elétrica e telefónica móvel;
- Via de circulação interna;
- Ecocentro (recebe recicláveis e monstros).

Como se pode verificar, o aterro de Santo Tirso não possui uma estação meteorológica, sendo os dados de precipitação, temperatura máxima e mínima, humidade atmosférica e direção e velocidade do vento obtidos através a estação meteorológica de Pedras Rubras.

O aterro de Santo Tirso é classificado como um aterro de resíduos não perigosos urbanos e em termos de topografia do confinamento é um aterro confinado em depressão. No aumento da capacidade de encaixe, a deposição dos resíduos ocorre sobre os taludes existentes aumentando as cotas dos mesmos. É de referir que para este aumento da capacidade efetuou-se a impermeabilização da base e paredes laterais dos taludes que foram anteriormente preenchidos com resíduos e cobertos com terras. (28)

No aterro, o funcionamento passa pela entrada das viaturas transportadoras de resíduos que têm necessariamente de passar pela báscula de pesagem, onde se efetua a anotação do peso bruto da viatura, a data e hora da pesagem. O operador da portaria inicia o processo de preenchimento do talão (e também da guia de acompanhamento de resíduos), confirmando se a viatura pertence às entidades com autorização de descarga, qual a entidade e que tipologia de resíduos transporta. O talão é preenchido em

triplicado sendo um entregue ao condutor da viatura e os outros dois ao operador. A metodologia de deposição concretamente será abordada mais à frente. No regresso as viaturas têm de passar obrigatoriamente pela unidade de lavagem de rodados, de forma a evitar que na circulação da viatura na via pública ocorra o espalhamento de resíduos. A viatura é novamente pesada à saída sendo depois entregue o talão de registo. (28)

O sistema de impermeabilização do aterro de Santo Tirso é constituído genericamente por uma camada de geocompósito bentonítico, uma tela de PEAD de 2 mm, uma camada de geotêxtil não tecido, uma georede e por fim outra camada de geotêxtil não tecido. (28)

3.3.2.Caracterização dos Resíduos Rececionados e Depositados

Os resíduos rececionados no aterro de Santo Tirso advêm do pólo do Vale do Ave da empresa RESINORTE S.A.. É importante compreender de forma correta os fluxos de resíduos de um determinado sistema de tratamento. Conhecendo-se os resíduos que são depositados em aterro e a sua quantidade consegue-se compreender a resposta do aterro em termos de reações de degradação, bem como os produtos resultantes (nomeadamente lixiviado e biogás).

A licença de exploração do aterro de Santo Tirso define no ponto 5.1.2. que a RESINORTE S.A. fica autorizada a depositar no aterro, exclusivamente resíduos urbanos conforme a alínea v) do Artigo 4 do Decreto de Lei nº 183/2009 de 10 de Agosto. No caso dos resíduos recolhidos seletivamente, a RESINORTE S.A. apenas se encontra autorizada a depositar em aterro o refugo proveniente da triagem dos mesmos, caso não exista uma alternativa de valorização. Em termos globais, analisa-se de seguida a quantidade de resíduos encaminhados para aterro, desde a abertura do mesmo até ao ano de 2012. O aterro controlado de Santo Tirso abriu em 1997, contudo anteriormente os resíduos eram depositados de uma forma descontrolada (lixreira), tendo os resíduos existentes na antiga lixeira sido removidos e recolocados no aterro impermeabilizado. As quantidades de resíduos depositados no aterro de Santo Tirso desde 1995 a 2012 encontram-se na Tabela 4, segundo fonte da RESINORTE S.A..

Tabela 4 - Quantidade de resíduos depositados no aterro de Santo Tirso de 1995 a 2012.

Ano	Quantidade Depositada (t)	Ano	Quantidade Depositada (t)
1995	36 596,24	2004	120 982,00
1996	19 464,40	2005	-
1997	21 040,56	2006	-
1998	85 368,90	2007	-
1999	35 562,18	2008	91 716,75
2000	18 215,18	2009	139 407,15
2001	107 125,00	2010	99 280,42
2002	123 521,00	2011	40 145,21
2003	128 578,00	2012	126 999,74
TOTAL DEPOSITADO entre 1995 e 2012 (t)		1 194 002,73	

Através da análise da Tabela 4, verificou-se que a quantidade total de resíduos depositados no aterro de Santo Tirso de 1995 a 2012 foi cerca de 1 194 002,73 t. Em 2009 depositou-se a maior quantidade de resíduos, sendo que o ano em que houve uma menor deposição foi em 2000. Nos anos 2005, 2006 e 2007 não foram depositados resíduos no aterro, contudo o mesmo não foi encerrado. No ano de 2007 ocorreram obras de reajustamento de forma a aumentar a capacidade de encaixe do aterro. Neste espaço de tempo os resíduos foram encaminhados para o aterro de Guimarães, Boticas e Celorico de Basto. A Figura 9 permite verificar de forma mais ilustrativa evolução da deposição de resíduos no aterro de Santo Tirso.

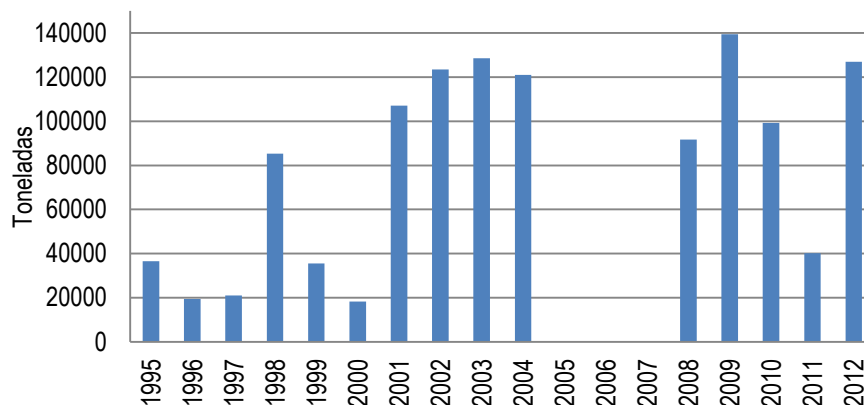


Figura 9 - Quantidade de resíduos depositados no aterro de Santo Tirso (1995-2012) em toneladas.

Através da Figura 9, verifica-se que entre 1995 a 2000 a deposição de resíduos no aterro foi moderada quando comparada com os anos seguintes. Neste período os valores de deposição andaram abaixo das 40 000 t, com a exceção do ano de 1998. Nos anos seguintes, ou seja, desde 2001 a 2012 as quantidades de resíduos depositadas foram acima das 85 000 t, com exceção do ano 2011, em que foram depositados à volta de 40 000 t. Nesse período atingiu-se um pico máximo de deposição em 2009, depositando-se perto de 140 000 t de resíduos.

Para se efetuar uma análise mais precisa dos resíduos depositados no aterro de Santo Tirso, avaliaram-se os fluxos dos últimos três anos.

Os resíduos que foram rececionados e depositados no aterro nos anos de 2010, 2011 e 2012 foram maioritariamente resíduos urbanos indiferenciados, mas também outras tipologias de resíduos como resíduos de limpeza pública, resíduos volumosos/monstros, refugos e rejeitados, resíduos de construção e demolição, e resíduos equiparados a urbanos. Os resíduos de construção e demolição são rececionados mas não depositados em aterro. Estes são usados para a construção de arruamentos.

Na Tabela 5, encontram-se as quantidades de resíduos rececionados/depositados por tipologia no aterro de Santo Tirso em 2010, 2011 e 2012. (25; 26; 27)

Tabela 5 - Quantidade de resíduos rececionados e depositados no aterro de Santo Tirso em 2010, 2011 e 2012.

Tipologia	Quantidade Rececionada (t)	Quantidade Depositada (t)	Quantidade Rececionada (t)	Quantidade Depositada (t)	Quantidade Rececionada (t)	Quantidade Depositada (t)
Resíduos Urbanos Indiferenciados	28 262,34	28 262,34	27 992,13	27 992,13	87 083,28	87 083,28
Resíduos de Limpeza Pública	4 813,34	4 813,34	2 274,58	2 274,58	2 640,64	2 640,64
Resíduos Volumosos/Monstros	153,82	153,82	8,14	8,14	1,46	1,46
Refugos/Rejeitados	64 765,64	64 765,64	8 074,24	8 074,24	36 586,92	36 586,92
Resíduos Equiparados a Urbanos	1 285,28	1 258,02	1 796,12	1 796,12	687,44	687,44
Resíduos de Construção e Demolição	1 193,86	-	344,26	-	1 001,96	-
Total (Toneladas)	100 474,28	99 280,42	40 489,47	40 145,21	128 001,70	126 999,74

Na Tabela 5, encontram-se as quantidades de resíduos rececionados e depositados no aterro de Santo Tirso. (25; 26; 27)

Dos resíduos depositados em aterro em 2010, 65,2% corresponderam a refugos e rejeitados, 28,5% corresponderam a resíduos urbanos indiferenciados, 4,8% corresponderam a resíduos de limpeza pública, 1,3% a resíduos equiparados a urbanos e 0,2% corresponderam a resíduos volumosos ou monstros.

É importante compreender quais os concelhos de proveniência dos resíduos. Sabe-se que 33% dos resíduos urbanos indiferenciados depositados tiveram origem na recolha indiferenciada de Guimarães, 27% em Famalicão, 21% em Santo Tirso, 12% na Trofa, 4% em Vizela e 3% em Fafe.

Dos resíduos depositados em aterro em 2011, 69,73% corresponderam a resíduos urbanos indiferenciados, 20,11 % a refugos, 5,67% a resíduos de limpeza pública, 4,47 % resíduos equiparados a urbanos e apenas 0,02% a resíduos volumosos/monstros. Os resíduos urbanos indiferenciados foram o tipo de resíduos mais depositados, porém só foram encaminhados para o aterro de Santo Tirso nos últimos três meses do ano. Assim sabe-se que 47% desses resíduos depositados tiveram origem na recolha indiferenciada em Guimarães, 23% em Santo Tirso, 14% na Trofa, 9% em Fafe e 7% em Vizela.

Todos os resíduos urbanos recolhidos em Famalicão foram valorizados no tratamento mecânico e biológico.

Dos resíduos depositados em 2012, 68,6% corresponderam a resíduos urbanos indiferenciados, 28,8% a refugos, 2,1% a resíduos de limpeza pública, 0,5% a resíduos equiparados a urbanos e os resíduos volumosos/monstros correspondem a uma percentagem quase nula.

Os resíduos urbanos indiferenciados foram a tipologia mais depositada. Assim, sabe-se que 42,9% dos resíduos urbanos depositados tiveram origem na recolha indiferenciada em Guimarães, 30,0% em Santo Tirso, 18,0% na Trofa, 8,9% em Vizela e 0,2% de Famalicão. Os resíduos urbanos de Fafe foram encaminhados para outro aterro da RESINORTE S.A., os resíduos urbanos de Famalicão foram valorizados no tratamento mecânico biológico e apenas uma pequena percentagem foi encaminhada para aterro.

Em termos globais, pode-se aferir que de 2010 a 2012 foram depositados no aterro de Santo Tirso 266 425,37 t de resíduos tendo sido rececionadas 268 965,45 t, entrando em linha de conta com os resíduos de construção e demolição que foram usados em arruamentos.

3.3.3. Modo de Enchimento

No aterro de Santo Tirso, realiza-se o método de deposição natural, em que os resíduos são depositados em bruto na célula de deposição diária ou frente de deposição que possui uma área aproximada de 1 000 m².

O modo de enchimento é fundamental para garantir um funcionamento correto do aterro. As operações que se realizam diariamente no aterro são designadas por frentes de trabalho, sendo estas definidas de acordo com as características de volume, espaço disponível e do estado físico da célula intervencionada. Contudo as frentes de intervenção variam de acordo com a época do ano, sendo diferentes no Verão e no Inverno. No Verão as frentes de trabalho circunscrevem-se ao talude mais afastado do local de descarga, uma vez que é mais fácil a circulação de viaturas nos caminhos de serviço construídos sobre os resíduos. No caso do Inverno, devido à mais difícil circulação, as frentes de trabalho localizam-se junto aos taludes laterais, nas proximidades nas zonas de entrada da área de enchimento. (24)

3.3.4.Cobertura

Em termos geológicos o aterro de Santo Tirso encontra-se numa zona predominantemente constituída por grauvaques e xistos, que são rochas sedimentares e metamórficas, respetivamente.

No aterro de Santo Tirso não se efetua uma cobertura total dos resíduos, devido à forma de exploração do aterro. Esta decisão relaciona-se também com a rentabilização da capacidade de encaixe de resíduos. A designada célula de deposição diária consiste na frente de trabalho, ou seja, na área onde se coloca diariamente resíduos.



Figura 10 - Terras de cobertura do aterro de Santo Tirso.

Deste modo, pode-se entender que a área do alvéolo é a mesma que a área da célula de deposição diária. Assim no aterro de Santo Tirso, a colocação de terras só ocorre quando a célula aberta para deposição atinge a cota máxima de enchimento da área que normalmente é de 15 dias. As terras existentes no aterro de Santo Tirso têm uma elevada granulometria, não sendo de grande qualidade para cobertura, como se pode verificar pela Figura 10.

3.3.5.Levantamentos Topográficos

De acordo com a licença ambiental, têm de existir registos semestrais dos levantamentos topográficos do aterro. Assim, na Tabela 6 encontram-se os registos de alguns dos levantamentos topográficos entre 2010 a 2012.

Tabela 6 - Dados dos levantamentos topográficos de 2010 a 2011.

Data do Levantamento	Resíduos Depositados Acumulados de 2010 – 2012 (t)	Volume Ocupado de 2010 – 2012 (m³)	Densidade (t/m³)
Janeiro - 2010	100 474	82 450	1,22
Janeiro - 2011	140 963	107 234	1,31
Dezembro 2012	267 963	200 291	1,34

No último levantamento efetuado, em Dezembro de 2012, verificou-se que em três anos se depositaram 267 963 t de resíduos, ocupando um volume de 200 291 m³ em aterro, correspondendo a uma massa volúmica de 1,34 t/m³. Na Figura 11, encontra-se o último levantamento topográfico que foi usado como base nos dimensionamentos efetuados no decorrer do trabalho. (28)



Figura 11 - Levantamento topográfico de Dezembro de 2012.

3.3.6. Equipamentos Mecânicos

Os equipamentos mecânicos existentes são uma máquina giratória escavadora de rastos, uma pá carregadora de rastos, um caminhão articulado (dumper) e uma máquina compactadora de resíduos sólidos pés de carneiro. Estas máquinas servem para efetuar a movimentação de terras e o espalhamento/compactação dos resíduos. O aterro possui ainda um caminhão cisterna, um trator e ferramentas para apoio geral. Todas as máquinas são contratadas a uma empresa externa. Existe também uma balança de pesagem, como anteriormente referido. (28)

3.3.7. Gestão de Lixiviados

No aterro de Santo Tirso ocorre a formação de lixiviados que advêm sobretudo da infiltração das águas pluviais e da degradação de resíduos. Neste aterro os lixiviados são drenados por um sistema de drenagem constituído por:

- Uma camada drenante de areia com 0,5 m de espessura e com permeabilidade de $1,1 \times 10^{-4}$ m³/s;
- Drenos de brita envolvida em geotêxtil com o interior em tubagem perfurada de PEAD com diâmetros de 100 mm a 160 mm.

Os drenos encaminham os lixiviados para valas de drenagem de fibrocimento que os vão conduzir para poços de captação. Os poços de captação levam os lixiviados para uma caixa de regularização através de encaminhamento gravítico, que efetua a regularização dos caudais excedentários. A caixa de regularização encontra-se fora dos limites do aterro, neste local existe um medidor caudal (canal de Parshall) que mede o caudal de lixiviado. (24)

Os lixiviados produzidos no aterro de Santo Tirso são encaminhados graviticamente por condutas até ao coletor do SIDVA (Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave) e deste são encaminhadas para tratamento na ETAR da Agra explorada pela empresa TRATAVE S.A.. Deste modo, a RESINORTE não efetua qualquer tipo de pré-tratamento pagando apenas um valor pré-definido à empresa responsável pela ETAR, que recebe o lixiviado nas condições em que ele se encontra. Isto apenas é possível devido ao coletor se encontrar próximo do aterro. (24)

Para além das águas lixivantes produzidas no aterro, existem mais dois efluentes que seguem o mesmo encaminhamento, que são as águas residuais domésticas do edifício administrativo e social e as águas provenientes do edifício de apoio (lava máquinas) e unidade de lavagem de rodados.

De acordo com a licença de exploração, a RESINORTE S.A. é obrigada a efetuar a monitorização dos lixiviados produzidos de forma a assegurar a sua qualidade. O plano de monitorização engloba a análise de diversos compostos de acordo com a frequência estipulada (mensal, semestral e anual). O plano de monitorização e os constituintes típicos do lixiviado encontram-se no Anexo I, nas Tabelas i e ii. (28)

Os resultados da qualidade analítica dos lixiviados produzidos no aterro de Santo Tirso em 2010, 2011 e 2012 encontram-se no Anexo I, nas Tabelas iii a vii. Em termos gerais ao longo dos três anos, os valores obtidos da qualidade analítica dos lixiviados encontram-se dentro da gama de composição típica, sendo que existem alguns parâmetros que nem sequer são detetados pelos métodos utilizados em análise. Existem ainda alguns parâmetros que periodicamente excedem os valores da composição típica dos lixiviados.

3.3.8. Gestão de Biogás

O biogás produzido na RESINORTE S.A. é encaminhado por um sistema de drenagem e captação de biogás, constituído por 26 drenos que asseguram uma cobertura total da área do aterro. Os drenos são depois interligados entre si por um sistema de coletores horizontais que conduzem o biogás para o queimador. A chaminé é a única fonte de emissão pontual existente funcionando em descontínuo. (24)

Além desta emissão pontual também existem emissões difusas que decorrem da emissão direta de biogás pela camada de resíduos. O plano de monitorização é de carácter mensal e efetuam-se medições de acordo com a legislação em vigor de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e oxigénio (O_2). Os gases referidos são os constituintes em maior percentagem do biogás, os restantes encontram-se no Anexo II, nas Tabelas viii e ix.

A monitorização de biogás do aterro de Santo Tirso é realizada por um laboratório externo acreditado, o Enarpur - Estudos Atmosféricos e Energia, Lda. (24)

A empresa pretende no futuro efetuar o aproveitamento do biogás para produção de energia elétrica, e para o efeito pretende fazer a cobertura temporária do aterro com telas para minimizar as perdas de biogás e também garantir a qualidade do mesmo, como foi referido nos capítulos anteriores.

3.3.9. Gestão de Águas Subterrâneas, Superficiais e Pluviais

De acordo com a legislação em vigor, a RESINORTE S.A. tem de realizar o controlo da qualidade das águas subterrâneas, nos três piezómetros (uma a montante e dois a jusante) existentes no local do aterro. A monitorização está a cargo de um laboratório externo LPQ, que efetua a determinação de vários parâmetros nas frequências mensais, semestrais e anuais.

A jusante do aterro de Santo Tirso encontra-se uma ribeira, sendo necessário proceder-se à monitorização das águas superficiais, pelo que as medições ocorrem num ponto a montante e noutro a jusante da ribeira, sendo a frequência de medição de determinados parâmetros mensal e trimestral.

As águas pluviais que precipitam sobre o aterro de Santo Tirso não têm propriamente um sistema de drenagem no limite de confinamento do aterro, sendo que nesses locais existe a confluência com lixiviados, estando-se assim a tratar tudo como lixiviados. As meias canas existentes permitem diminuir a pressão hidráulica sobre os taludes do aterro. Na Figura 12, encontram-se um exemplo das meias



Figura 12 - Meia cana usada no aterro de Santo Tirso.

canas de betão utilizadas. Caso a RESINORTE procedesse à separação de águas pluviais, as mesmas seriam encaminhadas para floresta adjacente ao aterro ou então para o coletor de águas pluviais na estrada municipal 556. (24)

4. Análise e Propostas de Ação

4.1. Análise e Propostas de Melhoria da Gestão de Lixiviados

4.1.1. Análise da Produção de Lixiviados

Para encontrar uma solução para a diminuição da produção de lixiviados foi necessário realizar um estudo acerca da quantidade de lixiviados produzidos e as causas para essa produção.

Esta relação está envolta em vários fatores muito difíceis de quantificar e analisar, uma vez que se tem de entrar em linha de conta com a precipitação ocorrida no aterro, a evaporação, a humidade, a temperatura atmosférica, a direção e intensidade do vento, a percolação das águas no aterro, a acumulação de água nos poros das terras cobertura, a capacidade de saturação dos poros e a permeabilidade das terras de cobertura, a água dos próprios resíduos, a água que provém da degradação dos resíduos, variações dos níveis freáticos, água de limpeza dos rodados dos camiões e ainda a espuma que é gerada pelos lixiviados que pode originar erros na medição do caudal pois utiliza-se um medidor ótico. Desta forma, a análise realizada teve como objetivo ter uma ideia dos quantitativos da forma mais correta possível, com os dados disponíveis.

A metodologia seguida para a realização desta análise passou pela avaliação da precipitação ocorrida na área do aterro, considerando-se para esses efeitos a área em planta que consiste em 67 078 m². Sabendo o valor da pluviosidade mensal (mm, L m⁻²), pode-se obter facilmente a quantidade da água que precipitou sobre o aterro num determinado período.

Os valores de precipitação ocorrida na área do aterro e da quantidade lixiviados produzidos nos anos 2010, 2011 e 2012 encontram-se na Tabela 7. (24; 28; 29)

Tabela 7 - Quantidade de lixiviados produzidos e precipitação ocorrida.

Mês	2010		2011		2012	
	Lixiviados (m³)	Precipitação (m³)	Lixiviados (m³)	Precipitação (m³)	Lixiviados (m³)	Precipitação (m³)
Janeiro	5 382	11 893	11 410	9 049	5 242	2 348
Fevereiro	7 227	9 907	6 543	10 679	3 260	335
Março	10 590	11 068	2 769	4 635	2 785	1 107
Abril	4 439	3 314	2 593	1 677	6 414	6 393
Mai	12 720	3 354	1 481	1 321	8 558	8 063
Junho	3 654	3 555	864	275	4 197	3 428
Julho	6 700	-	487	932	3 271	490
Agosto	1 246	268	592	2 039	4 758	4 555
Setembro	1 352	926	1 363	2 173	4 685	3 052
Outubro	7 029	14 093	4 661	-	8 124	10 384
Novembro	12 657	11 236	10 975	15 656	6 690	59 77
Dezembro	12 584	10 867	6 676	6 339	14 210	13 288

Através da análise da Tabela 7, afere-se facilmente que num mês pode ocorrer maior precipitação e produzir-se menos lixiviados que noutra mês em que a precipitação foi menor. Por exemplo em 2010, o mês de Janeiro teve uma precipitação de 11 893 m³ e a quantidade de águas lixiviantes encaminhadas para ETAR foi de 5 382 m³, já no mês de Maio a precipitação foi de 3 354 m³ e a quantidade de lixiviados encaminhadas para ETAR foi de 12 720 m³. Como foi referido anteriormente, existem diferentes fatores que afetam a produção de lixiviados, para além disso existe a assimilação da precipitação por parte do aterro, pelo que interessa também analisar os dados numa perspetiva evolutiva ao longo do ano.

Apresenta-se um estudo mais aprofundado para cada ano em causa, sendo que na Figura 13 se encontra a relação entre a quantidade de lixiviados produzidos e precipitação ocorrida em 2010. (24; 28; 29)

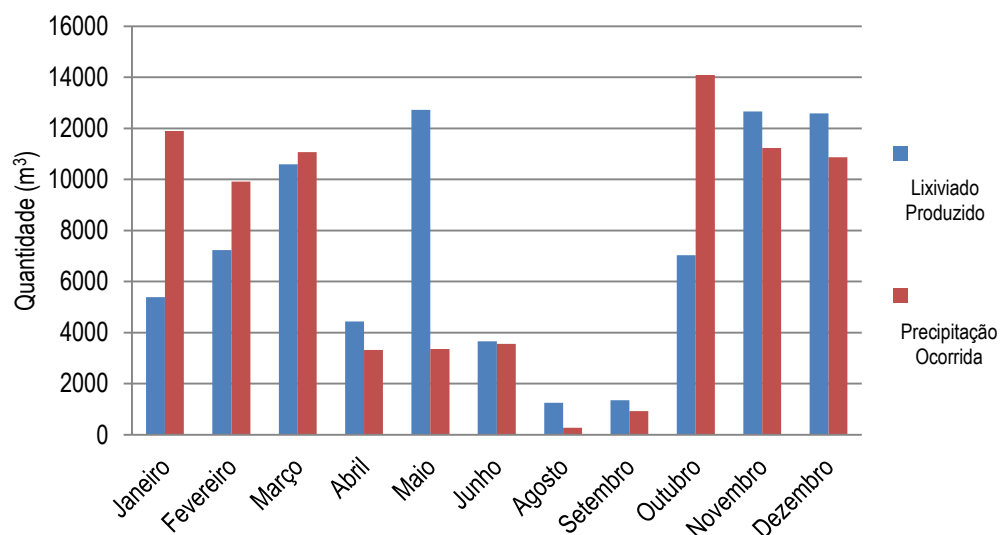


Figura 13 - Lixiviado produzido e precipitação ocorrida em 2010.

Em termos gerais o ano de 2010 teve um perfil de precipitação típico, uma vez que a maior precipitação ocorreu nos meses do Outono e de Inverno. O mês de Julho não está representado porque a estação meteorológica não obteve valores devido a avarias. (29)

Através da Figura 13, afere-se que nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Outubro a precipitação ocorrida foi superior à quantidade de lixiviados encaminhados para tratamento. Pode-se observar que o mês de Maio foi o que apresentou uma maior produção de lixiviados e o mês de Outubro uma maior precipitação. Tendo em consideração que no mês de Maio a precipitação foi relativamente baixa, verifica-se que há um tempo de assimilação dos lixiviados (quer pelo grau de compactação dos resíduos quer pela capacidade de campo dos mesmos) que leva a que estes vão ocorrendo, repercutindo-se nas quantidades dos meses seguintes. Na Figura 14, encontra-se a relação gráfica entre a quantidade de lixiviados produzidos e precipitação em 2011. (24)

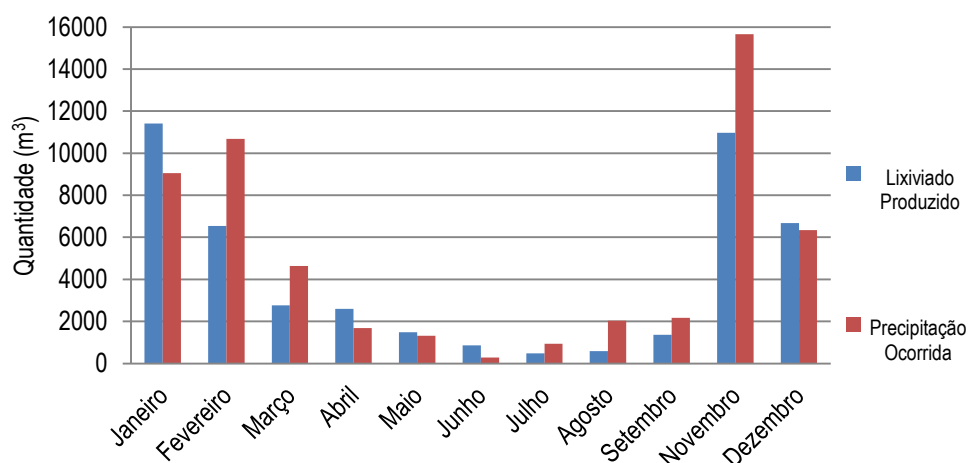


Figura 14 - Lixiviado produzido e precipitação ocorrida em 2011.

Tal como no ano anterior, os meses de maior precipitação e produção de lixiviados foram no Outono e no Inverno. O mês de Outubro não está representado porque a estação meteorológica não obteve valores devido a avarias. Através da Figura 14, afere-se, tal como já foi visto anteriormente, que nos meses de Fevereiro, Março, Julho, Agosto, Setembro e Novembro, os valores de precipitação foram superiores à quantidade de lixiviado encaminhado para tratamento. O mês em que ocorreu maior precipitação foi em Novembro e o mês de maior produção de lixiviados foi em Janeiro, cujos valores podem ter sido influenciados pela precipitação ocorrida anteriormente.

Na Figura 15, encontra-se a relação entre a precipitação e a quantidade de lixiviados produzidos em 2012.

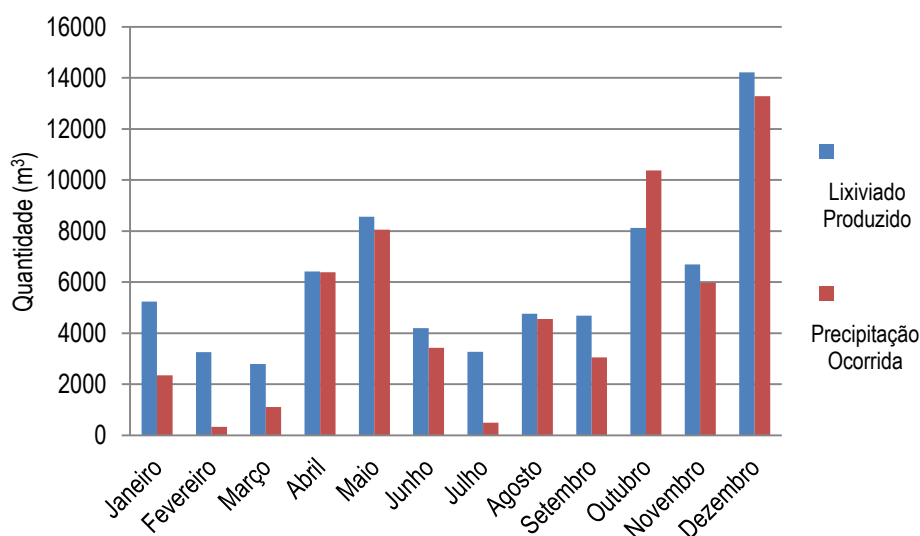


Figura 15 - Lixiviado produzido e precipitação ocorrida em 2012.

Ao contrário dos anos anteriores, através da Figura 15 afere-se que este ano foi muito atípico, uma vez que os meses de Janeiro, Fevereiro e Março, que costumam ser mais chuvosos, neste ano não foram. Apenas o mês de Dezembro apresentou quantidades de precipitação superiores às quantidades de lixiviados produzidos. Nos outros meses a quantidade de lixiviados produzidos foi superior à precipitação ocorrida.

Os resultados obtidos mostram que não é possível estimar as quantidades de lixiviados com base na precipitação ocorrida e que existe sempre um atraso relativamente à produção de lixiviados, devido ao grau de compactação dos resíduos e também à sua assimilação de águas lixiviantes.

Relativamente aos quantitativos anuais apresentados na Tabela 9, encontram-se os dados meteorológicos e dados de quantidade de águas lixiviantes encaminhadas para tratamento. A quantidade comparativa de lixiviado encaminhado refere-se à quantidade que foi enviada efetivamente nos meses em que há o registo da precipitação. (28)

No Anexo III, nas Tabelas x, xi e xii encontram-se os dados meteorológicos mensais de 2010, 2011 e 2012, respetivamente. Na Tabela 8, encontra-se um resumo dos dados meteorológicos, quantidade de lixiviados produzidos e resíduos depositados.

Tabela 8 - Dados meteorológicos e quantidade de lixiviados nos anos de 2010, 2011 e 2012.

Dados	Ano 2010	Ano 2011	Ano 2012
Precipitação (m³)	80 480,2	54 775,9	59 417,7
Humidade Relativa Média Anual (%)	70,7	62,7	58,7
Temperatura Mínima Média Anual (°C)	10,6	11,6	10,9
Temperatura Máxima Média Anual (°C)	18,9	20,4	19,0
Quantidade Total de Lixiviado Encaminhado (m³)	85 580,0	50 414,0	72 194,0
Quantidade Comparativa de Lixiviado Encaminhado (m³)	78 880,0	45 753,0	72 194,0
Quantidade de Resíduos Depositados (t)	99 280,4	40 145,2	126 999,7

Através da Tabela 8, afere-se que a produção de lixiviados foi superior em 2010 que corresponde a uma maior precipitação ocorrida, temperaturas mais baixas e menor humidade, por outro lado o ano de 2011 teve uma menor produção de lixiviados e uma menor precipitação ocorrida bem como temperaturas mais elevadas. Consideram-se as quantidades comparativas, uma vez que em 2010 e 2011 houve um mês em que a estação não registou valores de precipitação.

Em termos normais o expectável seria que a precipitação ocorrida fosse superior à produção de lixiviados. A água que precipita pode evaporar-se, escorrer superficialmente e infiltrar-se, porém neste caso a escorrência superficial termina no sistema de drenagem que conduzem essas águas para o tanque de lixiviados. De acordo com a revisão bibliográfica estima-se que a quantidade de lixiviados produzidos num aterro corresponde a 30% da água que precipita (1), contudo nota-se claramente que não é este o caso para esta análise temporal.

Podemos verificar pelos valores anteriores, que os valores de precipitação total de alguma forma resultam nas quantidades anuais de lixiviado obtidas, com a exceção de 2012. Uma das razões também pode ser a cobertura, uma vez que as terras disponíveis são fundamentalmente constituídas por rochas de calibres elevados constituídos maioritariamente por grauaques e xistos. Deste modo, a água percola facilmente através dessa camada até atingir os sistemas de drenagem, esse escoamento é acelerado pelos declives existentes no aterro. A razão por que num mês ocorre uma elevada precipitação e só nos meses seguintes é que ocorre um aumento na produção de lixiviados, advém da alguma acumulação na cobertura e resíduos, assim como pela compactação que atrasa o movimento de lixiviados.

Quando se comparam os valores de precipitação com a quantidade de lixiviado produzido verifica-se que 2012, foi um ano muito diferente dos anteriores e que a produção de lixiviados foi superior à precipitação ocorrida em cerca de 12 776,31 m³. Diferentes fatores poderão contribuir para esta situação, entre os quais o facto de em Novembro e Dezembro de 2011 ter ocorrido elevada precipitação que poderá ter

influenciado a produção de lixiviados nos primeiros meses de 2012. Verificou-se também que na zona do aterro junto à floresta ocorreu a entrada de água superficial para a área do aterro, que poderá ter originado o aumento da produção de lixiviados. Variações no nível freático, em caso de rutura no material de impermeabilização poderiam causar aumento dos lixiviados, mas tal não parece ter ocorrido pela monitorização das águas subterrâneas realizada.

A quantidade de resíduos depositados também influenciam a produção de lixiviados. Em 2012, a quantidade de resíduos depositada foi muito superior à quantidade depositada nos outros anos, nesse ano depositaram-se 126 999,74 t. Quanto maior a quantidade de resíduos depositados, maior é a quantidade de água contida nestes que seguem para aterro, por outro lado maior é a área necessária para a deposição que influencia a infiltração de água pluvial.

Para além disso, como os dados meteorológicos são obtidos através da estação de Pedras Rubras, pode existir um grande erro associado aos dados meteorológicos, sendo que os valores de precipitação provavelmente seriam um pouco superiores e mais enquadrados com a produção de lixiviados. O mais correto seria a RESINORTE adquirir os dados meteorológicos à estação meteorológica da Trofa e não à de Pedras Rubras. Porém conclui-se que no aterro de Santo Tirso, uma parte muito significativa da precipitação originará a produção de lixiviados, sendo importante a aplicação de medidas que visam a redução dessa produção. (24; 28; 29)

4.1.2. Análise dos Custos de Tratamento de Lixiviados

O custo de tratamento dos lixiviados produzidos influencia os encargos globais de exploração de um aterro, deste modo pretende-se compreender como se processa o tratamento e identificar os custos associados ao mesmo permite determinar qual a solução mais adequada para diminuir a produção de lixiviados. Nesta parte do trabalho apresenta-se o custo de tratamento em diferentes aterros (diferentes tratamentos e destino final) e a análise desses custos, sendo os valores referentes a 2012. Os aterros abordados além do aterro de Santo Tirso são os aterros de Bigorne, Boticas e Celorico de Basto pertencentes à RESINORTE S.A. e o aterro de Sermonde pertencente à SULDOURO S.A..

No aterro de Santo Tirso, não existe qualquer pré-tratamento aplicado aos lixiviados, sendo estes conduzidos de forma gravítica por condutas até ao coletor da SIDVA (Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave) e deste são encaminhados para tratamento na ETAR da AGRA. A RESINORTE S.A. apenas tem de comportar o custo do tratamento na ETAR. O valor pago pela RESINORTE S.A. é fixo sendo acordado entre as duas empresas. (28; 30)

Nos aterros de Bigorne, Boticas e Celorico de Basto, o tratamento de lixiviados é realizado por um processo de osmose inversa e recirculação do permeado obtido pelo processo de tratamento, uma vez que não é possível efetuar o encaminhamento direto das águas lixiviantes para tratamento numa ETAR. A parte de lixiviado tratada é encaminhada para uma linha de água.

No aterro em Sermonde, que pertence à SULDOURO S.A., os lixiviados produzidos sofrem um pré-tratamento, em que estes são encaminhados para duas lagoas de regularização onde se efetua a oxidação através da injeção de oxigénio puro nas águas lixiviantes, efetua-se desnitrificação através de tanque de arejamento e tanque anóxico e ainda um tratamento físico-químico por flutuação. Do processo resultam lamas que são centrifugadas e desidratadas sendo depois enviadas para aterro. O efluente resultante é depois encaminhado para uma ETAR. (31)

A metodologia consistiu na realização de um levantamento dos custos de tratamento associados a cada aterro. No caso do aterro de Santo Tirso, analisou-se o contrato celebrado entre a RESINORTE S.A. e TRATAVE S.A., onde é referido o valor a pagar por um metro cúbico de lixiviado tratado. No caso dos aterros de Celorico, Bigorne e Boticas cujo tratamento é realizado por osmose inversa, realizou-se um levantamento mensal no ano de 2012 de todos os custos imputados ao tratamento, que englobam custos de mercadorias, custos de fornecimentos e serviços externos, gastos com pessoal, gastos de depreciação e amortização, outros gastos e perdas e ainda gastos e perdas de financiamento. No caso do aterro de Sermonde, foi realizada uma visita ao local onde a SULDOURO forneceu os custos de tratamento. (31; 32; 33; 34)

Os aterros da RESINORTE com tratamento por osmose inversa são considerados em conjunto, uma vez que a gestão das osmose inversas é feita de uma forma integrada, não existindo por essa razão os custos desagregados.

Na Tabela 9 encontram-se as quantidades de lixiviados tratados e os respetivos custos.

Tabela 9 - Quantidade de lixiviados tratados e respetivo custo de tratamento para os diferentes aterros em 2012.

Aterro	Local de Tratamento	Lixiviado Tratado (m³)	Valor pago (€)	Preço (€/m³)	Relação
Santo Tirso	ETAR da Agra	72 194,00	93 101,38	1,29	1,00
Celorico/Bigorne /Boticas	Respetivos Aterros	65 568,00	404 366,76	6,17	4,78
Sermonde (SULDOURO)	Aterro (Pré-Tratamento)/ETAR	-	-	12,00	9,31

São evidentes os elevados custos anuais com o tratamento do lixiviado. Através da Tabela 9, verifica-se que dos aterros analisados, o de Santo Tirso foi o que pagou um menor valor por metro cúbico de lixiviado produzido em 2012, cerca de 1,29 €. O conjunto dos aterros de Celorico, Bigorne e Boticas, que efetuam um tratamento por osmose inversa, em 2012 tiveram um custo médio por metro cúbico de lixiviado tratado de 6,17 €, o significa um custo 4,78 vezes superior ao custo do tratamento do lixiviado produzido em Santo Tirso. No caso do aterro de Sermonde verifica-se que o custo de tratamento por metro cúbico é de 12 €, que é 9,31 vezes superior ao tratamento do lixiviado produzido em Santo Tirso.

Neste caso o custo de tratamento de lixiviado é elevado pois além do tratamento efetuado no local ainda existem os custos associados ao transporte e ao tratamento de lixiviados na ETAR. (31; 32; 33; 34)

Nos outros aterros, e tendo em consideração os elevados custos obtidos, deverá ser dado um maior destaque à diminuição da produção de lixiviados, através da colocação de telas drenantes, situação verificada na SULDOURO.

De facto, verifica-se que o aterro de Santo Tirso é privilegiado pela sua localização próxima da ETAR da Agra, onde é possível efetuar a descarga do lixiviado graviticamente no coletor do sistema integrado de despoluição do Vale do Ave (SIDVA), efetuando-se apenas um pagamento à empresa responsável pela ETAR, não existindo por essa razão custos de manutenção de bombas nem custos elétricos com a bombagem de lixiviado. Assim a melhor solução de tratamento é o encaminhamento para uma ETAR sem efetuar pré-tratamento, contudo isso raramente é possível.

4.1.3. Análise da Área para Aplicação de Telas

Para efetuar a colocação de telas temporárias para desvio de águas pluviais no aterro de Santo Tirso foi necessário determinar a área superficial para sua aplicação, assim como a área em planta para efetuar o dimensionamento do sistema de drenagem subsequente de águas pluviais.

A melhor solução seria a utilização de um levantamento topográfico recente, contudo o levantamento topográfico mais recente é de Dezembro de 2012, encontrando-se desatualizado devido à evolução da topografia do terreno por deposição dos resíduos. Os taludes que estão finalizados são os dois primeiros a contar do ponto de menor altitude do aterro. Não havendo levantamento topográfico atualizado dessa zona procedeu-se à realização de um levantamento topográfico manual para obtenção das áreas dos dois taludes da zona inferior. Na Figura 16 encontram-se os taludes para aplicação de telas.



Figura 16 - Taludes para futura aplicação de telas drenantes.

Para efetuar o levantamento topográfico utilizaram-se alguns instrumentos manuais existentes tais como um martelo, espeto de ferro e uma trana de 25 metros (Figura 17).



Figura 17 - Instrumentos utilizados na medição topográfica (Martelo, Espeto e Trana).

O método utilizado para obter as áreas dos dois taludes consistiu na medição do terreno através de triangulações, ou seja, efetuando-se a divisão do terreno em triângulos, tendo-se aplicado tanto nas banquetas como nos taludes. Utilizou-se este método, uma vez que seria a forma mais correta de obter os valores de área. Após a obtenção do comprimento dos três lados de um triângulo (A, B e C) obteve-se a área usando o Teorema de Herão, pela obtenção do semiperímetro do triângulo (eq. 1 e 2). (35)

$$\text{Semiperímetro } (S) = \frac{A + B + C}{2} \quad (1)$$

$$\text{Área} = \sqrt{S * (S - A) * (S - B) * (S - C)} \quad (2)$$

O que se realizou para obtenção da área total foi a soma das áreas de vários triângulos. Através deste método de medição obteve-se a área superficial total do 1º talude e banquetas e 2º talude, que permite determinar a quantidade de tela a aplicar. Na Tabela 10, encontram-se as áreas medidas divididas pelas diferentes zonas e taludes.

Tabela 10 - Áreas superficiais obtidas através do levantamento topográfico manual.

Fração	Área 1º Talude (m²)	Área Banqueta do 1º Talude (m²)	Área 2º Talude (m²)
1	100,90	13,57	261,66
2	112,29	89,92	183,39
3	616,20	34,29	396,73
4	721,71	210,44	696,42
5	713,83	254,11	509,08
6	596,93	206,35	376,29
7	31,77	147,82	98,68
8	-	37,95	357,75
9	-	50,77	-
Total	2 893,63	1 045,22	2 879,99

Através da Tabela 10, verifica-se que a área superficial total medida é de 6 818,84 m², contudo para a realização dos trabalhos de colocação de telas e forragem da zona circular de colocação dos drenos de betão para drenagem de águas pluviais é necessário uma área de tela maior. Estima-se que a área necessária para efetuar esses trabalhos seja 5% da área de aplicação, segundo as empresas de aplicação de telas. Deste modo a área total de tela necessária será de 7 159,78 m².

Para a realização do dimensionamento do sistema de drenagem das áreas de aplicação de telas, foi necessário obter uma área plana da área superficial dos taludes. Como esse valor não poderia ser obtido através do levantamento topográfico, estabeleceu-se um cálculo expedito que permitisse obter o valor dessa área. Não tendo outras alternativas, estabeleceu-se uma relação entre a área superficial e a área plana de um outro local do aterro, em que pelo levantamento topográfico mais recente se podia obter a área plana, uma vez que o local a considerar não se tinha modificado desde o último levantamento topográfico. Na Figura 18, encontram-se imagens desse local do aterro, que englobam dois taludes e uma banqueteta.



Figura 18 - Local do aterro usado para a obtenção da área plana.

Para a correlação, utilizou-se o programa computacional *DraftSight*, em que se marcou um ponto de referência para iniciar os trabalhos no terreno e mais tarde usou-se esse mesmo programa para a obtenção da área plana referente a esse local. A obtenção da área superficial do local de correlação consistiu na aplicação da mesma metodologia utilizada na obtenção da área da zona para aplicação de telas. A marcação do ponto de referência consistiu na obtenção de uma distância pelo programa que pudesse ser indicativa para se iniciar o levantamento topográfico no terreno para obtenção da área superficial do local de correlação.

Através da metodologia apresentada anteriormente obteve-se a área superficial do local. Os valores da área obtida encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Área superficial do local de correlação.

Local de Correlação	Área (m ²)
1º Talude	1 530,52
Banqueta 1º Talude	624,30
2º Talude	2 251,85
Área Superficial Total	4 406,66

Através da Tabela 11, verifica-se que a área superficial do local é de 4 406,66 m². Sem a área referente à banquetta, ou seja sem a parte plana, esse valor é de 3 782,37 m², correspondendo apenas à área superficial dos taludes.

Tendo em conta os comprimentos medidos aquando da medição da área superficial da base dos taludes e na parte superior do segundo talude do local, utilizou-se o software para fazer a figura geométrica do terreno (Figura 19).

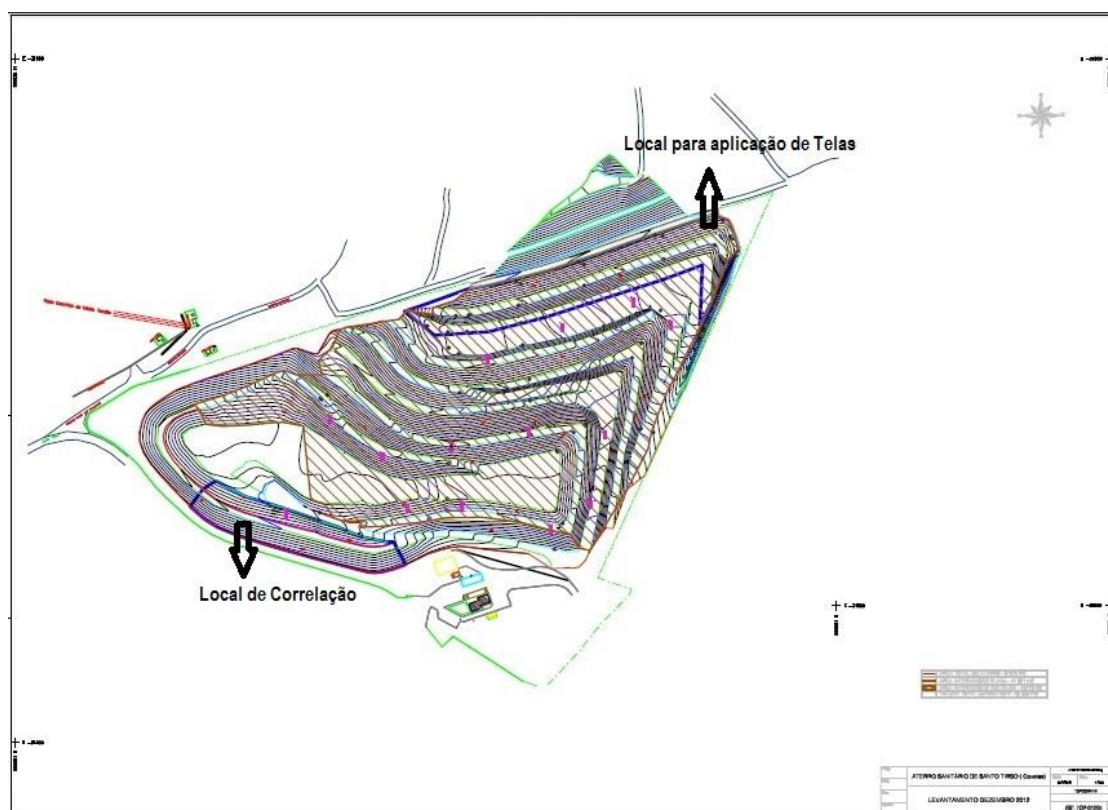


Figura 19 - Local de correlação e local para aplicação de telas (DraftSight).

Com o software calculou-se a área dessa Figura, correspondendo a 4 113,15 m². Contudo para determinar a área plana dos taludes teve que se retirar à anterior a área da banquetta, deste modo obteve-se a área de 3 488,85 m². A diferença entre a área superficial e a área plana dos taludes para o local de correlação é de 293,51 m², correspondendo a cerca de 0,92 m² de área plana por m² de área

superficial. A partir daqui avaliou-se a média do comprimento das pendentes dos taludes dos dois locais (Tabela 12).

Tabela 12 - Comprimento médio das pendentes dos taludes dos dois locais do aterro.

Pendentes	Comprimento Médio (m)
Taludes Aplicação de Telas	12,75
Taludes de Correlação	12,90

Verificou-se pela Tabela 12, que a média das pendentes é muito semelhante, pelo que a relação entre as áreas planas e superficiais dos taludes também não deverá ser muito diferente, o que permitiu determinar a área plana dos taludes da zona de aplicação de telas. Assim, considerando a área superficial dos taludes do local de aplicação de telas (5 773,62 m²), a área em planta do local de aplicação de telas pode ser estimada como 5 330,92 m². Para o dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais derivadas foi necessário realizar a distribuição da área plana obtida pelas várias frações das áreas através de medição manual da área superficial. Essa distribuição fez-se através das percentagens de cada fração no peso da área total. De salientar que esta distribuição não se aplicou às frações de área da banquetta pois estas áreas são planas. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores obtidos das áreas horizontais dos taludes do local de aplicação de telas.

Fração	Área 1º Talude (Inclinada) m²	Área Banqueta (Plana) m²	Área 2º Talude (Inclinada) m²
1	93,16	13,57	241,59
2	103,68	89,92	169,32
3	568,95	34,29	366,31
4	666,37	210,44	643,02
5	659,10	254,11	470,05
6	551,16	206,35	347,44
7	29,33	147,82	91,11
8	-	37,95	330,32
9	-	50,77	-
Total	2 671,76	1 045,22	2 659,16

Pela Tabela 13, verifica-se que a área horizontal, ou seja, a área em planta dos taludes para a colocação de telas, obtida através desta metodologia aplicada é de 6 376,14 m².

A partir das áreas apresentadas na Tabela 13 efetuou-se o dimensionamento dos sistemas de drenagem das águas pluviais.

O dimensionamento do sistema de drenagem do local de aplicação de telas foi realizado com base no Decreto de Lei nº 23, de Agosto 1995. A drenagem será efetuada por meias canas de betão colocadas por cima das telas e no limite das mesmas. Para obtenção do caudal a drenar de uma determinada área,

deve-se conhecer a referida área, determinando-se a inclinação da meia cana no limite dessa área e o coeficiente de escoamento. A equação que permite obter o caudal apresenta-se de seguida (3).

$$Q = C * I * A \quad (3)$$

Para obter o valor do caudal (Q) em m³/s, é necessário o valor de C, coeficiente de escoamento, cujo valor se considerou igual a 1, assumindo-se que as telas são impermeáveis (tendo em conta que a permeabilidade é muito reduzida); A (m²), a área da zona a drenar em projeção horizontal e I (m/s), a intensidade de precipitação. A intensidade de precipitação foi estudada para as diferentes regiões pluviométricas de Portugal, através de valores tabelados, sendo obtida através do conhecimento da região pluviométrica, dos tempos de retorno e de escoamento. Através da equação 4 pôde-se obter a intensidade de precipitação. (36)

$$I = a * t^b \quad (4)$$

Na equação 4, I é a intensidade de precipitação (mm/h), a e b são as constantes que dependem do tempo de retorno (anos) e t é o tempo de escoamento (minutos). O tempo de retorno, é o tempo que decorre desde a ocorrência de precipitação de elevada intensidade até à ocorrência de uma nova precipitação de igual intensidade.

O aterro de Santo Tirso encontra-se na região pluviométrica A, e considerando um tempo de retorno de 10 anos as constantes a e b são 290,68 e -0,549, respetivamente. Estes valores foram obtidos segundo o Decreto de Lei nº 23, de Agosto de 1995. Considerou-se um tempo de escoamento de 5 minutos, uma vez que é indicado como o normal adotado nesses casos, assim determinou-se que a intensidade de precipitação é de 120,14 mm/h. Sabendo então o valor da intensidade de precipitação, o coeficiente de escoamento e a área a drenar conseguiu-se obter o valor do caudal. Contudo, como se divide o talude por áreas e por troços de escoamento, foi sempre somado ao caudal obtido para aquela área o caudal da área anterior.

Para obter o valor do diâmetro da meia cana foi necessário utilizar a equação de Manning-Strickler, que é usada para escoamentos com superfície livre. A equação de Mannig-Strickler (5) usada é apresentada a seguir. (37)

$$Q = K_s * S * R^{2/3} * \sqrt{i} \quad (5)$$

Na equação 5, Q é o caudal em m³/s, K_s é um coeficiente que depende da natureza do canal de escoamento (m^{1/3}/s), S é área da secção molhada (m²), R é o raio hidráulico (m) e i é a inclinação do canal (m/m).

O canal a usar para derivar as águas pluviais é uma meia cana de betão cujo valor de K_s é 65 m^{1/3}/s. O canal de meia cana tem uma secção geométrica semicircular, o que podemos assim relacionar com os

parâmetros seccionais nomeadamente com a área de secção molhada (S) e com o raio hidráulico (R). (36)

Na Figura 20, encontra-se um canal com secção geométrica circular, onde se pode observar o ângulo definidor da secção molhada em radianos.

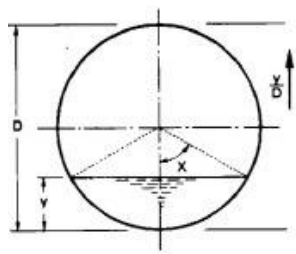


Figura 20 - Canal de secção geométrica circular. (adaptado de Novais Barbosa,J (37))

As relações estão apresentadas nas equações 6 e 7 seguintes são as relações gerais para canais de secção circular.

$$R = \frac{D}{4} \left[1 - \frac{\text{Sen}(2X)}{2X} \right] \quad (6)$$

$$S = \frac{D^2}{8} [2X - \text{Sen}(2X)] \quad (7)$$

Nas equações 6 e 7, R é o raio hidráulico (m), S é a área de secção molhada (m²) e D é o diâmetro da secção (m) e X é o ângulo em radianos. Contudo estas equações tem de ser deduzidas para secção semicircular e isso consegue-se considerando que o ângulo definidor da secção molhada (2X) é π . Depois da dedução das equações, substituiu-se estas na equação de Manning-Strickler para obter o diâmetro da secção da meia cana. A equação 8 a aplicar para a obtenção do diâmetro é a apresentada a seguir. (37)

$$Q = K_s * \frac{D^2}{8} (\pi) * \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i} \quad (8)$$

Na equação 8, Q é o caudal em m³/s, K_s é um coeficiente que depende da natureza do canal de escoamento (m^{1/3}/s), D é o diâmetro da secção (m) e i é a inclinação do canal (m/m). A inclinação da meia cana é obtida sabendo a diferença de cotas entre as duas extremidades da meia cana (obtido através do levantamento topográfico de 2012) e o comprimento da mesma. A equação 9 permite a obtenção da inclinação. (37)

$$\text{Inclinação} \left(\frac{m}{m} \right) = \frac{\text{Cota Inicial} - \text{Cota Final}}{L} \quad (9)$$

Deste modo, através da equação 8 e sabendo o caudal, o K_s e a inclinação (i) consegue-se obter o valor do diâmetro.

Após a explicação e compreensão das metodologias de cálculo é necessário compreender o raciocínio associado, nomeadamente como ocorre a derivação das águas e a direção destas. O local de aplicação de telas consiste em dois taludes e uma banquetta. A banquetta possui uma ligeira inclinação o que faz que, por exemplo, a água pluvial da banquetta convirja para o mesmo local que as águas pluviais do segundo talude. Como se pode verificar através da Figura 21.



Figura 21 - Indicação dos taludes e zonas de confluência de caudais.

Devido à topografia do terreno, considerou-se que faria sentido efetuar a convergência do escoamento das águas pluviais para o sistema de drenagem da base do primeiro talude das áreas iniciais da banquetta e do segundo talude. Para melhor compreensão, apresenta-se na Figura 22 a direção do escoamento nos sistemas de drenagem.



Figura 22 - Indicação da direção de escoamento de águas pluviais.

Através da Figura 22, verifica-se que ao caudal de água pluvial da zona inicial do primeiro talude, tem que se somar aos caudais das áreas iniciais 1 e 2 do segundo talude e das áreas iniciais 1, 2 e 3 da banquetta. Estes caudais entram no sistema de drenagem da base do primeiro talude. O sistema de drenagem de águas pluviais da base do segundo talude deriva os caudais das outras áreas desse talude e das outras áreas da banquetta. Essas águas são encaminhadas ao longo da base desse talude terminando na zona limite do aterro junto a floresta.

Na Tabela 14, encontram-se os valores de caudal e diâmetro obtidos para o sistema de drenagem da base do primeiro talude.

Tabela 14 - Valores de caudal e diâmetro obtidos para o sistema de drenagem da base do primeiro talude.

Zona/Talude	Área (m²)	Inclinação (m/m)	Caudal (m³/s)	Diâmetro Teórico (mm)	Diâmetro Comercial (mm)
1 Inclinação/2º Talude	242	0,0911	0,0081	108	200
2 Inclinação/2º Talude 1,2 e 3 Plana/1º Talude	290	0,0438	0,0097	133	200
1 Inclinação/1º Talude	93	0,1037	0,0031	74	100
2 Inclinação/1º Talude	104	0,0800	0,0066	103	200
3 Inclinação/1º Talude	569	0,0430	0,0256	191	200
4 Inclinação/1º Talude	666	0,0166	0,0478	289	300
5 Inclinação/1º Talude	659	0,0210	0,0698	319	400
6 Inclinação/1º Talude	551	0,0246	0,0882	338	400

Através da Tabela 14, verifica-se que tendo em conta o caudal a drenar é necessária a aplicação de meia cana de betão com diâmetro comercial de 400 mm. Esse diâmetro será, normalmente, igual em todo o comprimento.

Na Tabela 15, apresenta-se o dimensionamento do sistema de drenagem da base do segundo talude.

Tabela 15 - Valores de caudal e diâmetro obtidos para o sistema de drenagem da base do segundo talude.

Zona/Talude	Área (m²)	Inclinação (m/m)	Caudal (m³/s)	Diâmetro Teórico (mm)	Diâmetro Comercial (mm)
3 Inclinação/2º Talude 3 e 4 Plana/1º Talude	366	0,0153	0,0198	211	300
4 Inclinação/2º Talude 5 Plana/1º Talude	643	0,0166	0,0498	294	300
5 Inclinação/2º Talude 6 Plana/1º Talude	470	0,0205	0,0723	325	400
6 Inclinação/2º Talude 7 Plana/1º Talude	347	0,0267	0,0889	334	400
7 Inclinação/2º Talude 8 Plana/1º Talude	91	0,0316	0,0932	329	400
8 Inclinação/2º Talude 9 Plana/1º Talude	330	0,0387	0,1059	333	400

Através da Tabela 15, verifica-se que tendo em conta o caudal a drenar é necessária a aplicação de meia cana de betão com diâmetro comercial de 400 mm. A zona final do primeiro talude vai derivar conjuntamente os caudais que advêm do sistema de dimensionamento da base do segundo talude sendo que devido ao declive o diâmetro das meias canas é de 400 mm. Como se pode observar pela Figura 23.



Figura 23 - Zona de confluência de caudais do sistema de dimensionamento.

A colocação de meias canas sobre as telas drenantes permitem drenar essas águas e também melhorar a fixação das telas. Tendo em conta aquilo que foi dimensionado acima, sabe-se que a meia cana a comprar seria de 400 mm de diâmetro. As empresas PIMACON e a BETAFIEL produzem meia canas de betão necessárias para o sistema de drenagem das águas pluviais. Os preços relativos à meia cana com diâmetro de 400 mm praticados pelas duas empresas encontram-se na Tabela 16. (38; 39)

Tabela 16 - Preço da meia cana de betão de 400 mm.

Empresa	Preço Meia Cana 400 mm (€)
BETAFIEL	2,95
PIMACON	5,33

Pela Tabela 16, verifica-se que das duas empresas consideradas, a BETAFIEL detém o preço mais em conta sendo os materiais semelhantes. É de referir que a RESINORTE já é cliente da BETAFIEL. Para saber qual o custo total de aplicação



Figura 24 - Meia cana de betão utilizada nas drenagens de águas pluviais. (38)

de meias canas é necessário saber qual a distância total do sistema de drenagem, sendo que a distância teórica a cobrir com meia canas de betão é de 571 metros, o que perfaz um total de 1 684,45 €. Na Figura 24, encontra-se uma imagem de uma meia cana. Os custos das meias canas da BETAFIEL foram fornecidos diretamente pela empresa. (39)

Apurou-se que a RESINORTE S.A. possui armazenadas meias canas de betão de 500 mm disponíveis que podem também ser aplicadas, reduzindo ao investimento necessário.

4.1.4. Estudo da Escolha das Telas Drenantes

A solução que se aborda para a diminuição de produção de lixiviados consiste na aplicação de telas com baixa permeabilidade. No caso do aterro de Santo Tirso, as zonas a impermeabilizar são as referentes aos dois primeiros taludes e a parte plana do primeiro talude (banqueta). A área total a impermeabilizar com tela corresponde a cerca de 6 818,84 m², contudo devido aos trabalhos de aplicação (aberturas de valas, soldaduras entre outros) é necessário uma área de tela de 7 159,78 m².

Deste modo, é necessário determinar qual o impacto na diminuição na produção de lixiviados. Poder-se-ia considerar a precipitação anual ocorrida no aterro e a partir daí determinar a quantidade de água que seria desviada, contudo como se aferiu anteriormente os valores de precipitação são referentes à estação meteorológica de Pedras Rubras, não sendo representativos da precipitação ocorrida no aterro de Santo Tirso, pela análise realizada. Deste modo, optou-se por considerar o valor total de lixiviados produzidos segundo a área total do aterro (67 078 m²) e comparar-se para a área em planta da zona de colocação de telas (6 376,14 m²), cerca de 9,5% da área total, e considerando-se que a água precipita uniformemente sobre toda a área.

Na Tabela 17, apresenta-se a quantidade de lixiviados produzidos de 2010 a 2012 referentes à área do aterro e as quantidades de águas lixiviantes passíveis de redução através da cobertura da área referida anteriormente.

Tabela 17 - Valores teóricos de redução da produção de lixiviados.

Anos	Águas Lixivantes (m ³)	Redução Estimada (m ³)	Valor Poupança (€)
2010	85 580,0	8 134,9	10 741,9
2011	50 414,0	4 792,1	6 179,9
2012	72 194,0	6 862,4	8 849,8
Média Três Anos	69 396,0	6 596,5	8 506,8

Considerando o valor de poupança da média, a redução de custos associados ao tratamento de lixiviados pela aplicação de telas no período referido seria de 708,9 €/mês, considerando apenas os custos de tratamento de lixiviados. Sabe-se que ocorre produção de lixiviados a partir das águas contidas nos resíduos, porém estas quantidades são baixas quando comparado com a influência das águas pluviais na produção de lixiviados e tendo-se por isso considerado desprezável.

Para a seleção das telas drenantes a colocar como cobertura temporária no aterro de Santo Tirso terá que se ter em conta também a realização da selagem (por questões de durabilidade, destino dos materiais e assentamentos), que só decorrerá em 2019, ou seja, daqui a 6 anos.

As soluções das telas estudadas para a aplicação no aterro de Santo Tirso pertencem às seguintes empresas: SOTECNISOL, ISOPOL, BBF, HBB GEOSALES e REEF Industries. Todas as telas estudadas permitem diminuir a produção de lixiviados, reduzir a emissão fugitiva de gases para a atmosfera e reduzir a entrada de oxigénio no seio do aterro. Contudo algumas dessas telas podem ser aplicadas na

selagem do aterro, sendo garantida a qualidade das mesmas. Passam-se a descrever essas soluções de seguida.

4.1.4.1.Solução 1 da SOTECNISOL

A empresa SOTECNISOL comercializa uma cobertura temporária para colocação em aterro. O material de cobertura é a membrana Shelter Trap 180, que é constituída por uma malha de PEAD revestida PEBD estabilizada contra os raios ultravioleta. Contudo, devido tratar-se de uma cobertura temporária, os materiais usados na tela são muito leves, podendo ser arrastados e fisicamente alterados o que pode levar a rutura do material. Muitas vezes para efetuar a proteção destas telas utiliza-se pneus ou sacos de areia, que depois originam problemas, diminuindo o tempo de vida útil da membrana. Esta membrana tem um tempo de vida útil bastante baixo, cerca de 1 a 3 anos no máximo, dependendo das condições atmosféricas. (40)

A empresa forneceu a informação dos custos, sendo que para esta solução é de 1 €/m² englobando transporte, sendo a aplicação realizada pelos técnicos do aterro da RESINORTE. Tendo em consideração a aplicação na área em estudo no aterro de Santo Tirso, o custo seria de 7 159,8 €. Contudo ter-se-ia que efetuar duas aplicações deste material para a mesma área, pois como foi referido a durabilidade máxima é apenas de 3 anos e deste modo os custos de aquisição ascenderiam a 14 319,6 €, para o período de tempo previsto de utilização.

4.1.4.2.Solução 2 da SOTECNISOL

A empresa SOTECNISOL dispõe de outra solução que consiste na aplicação de uma geomembrana de PEAD que em termos de cobertura temporária a espessura da geomembrana indicada é de 1 mm. A aplicação da geomembrana consiste na colocação desta sobre a área a aplicar, posterior sobreposição dos vários panos para realização de soldadura térmica. No fim da aplicação são normalmente realizados vários testes para verificação da estanquidade das soldaduras.

Esta solução tem um custo de aquisição e aplicação de 3,90 €/m² em que no total a sua aplicação é de 27 923,1 €, estes custos incluem aplicação por uma equipa da SOTECNISOL, contudo é necessário apoio da RESINORTE na escavação de valas e com auxílio de mão-de-obra por dois técnicos. A SOTECNISOL garante a qualidade da membrana durante os 6 anos. Esta geomembrana de 1 mm pode ser utilizada na selagem final do aterro, uma vez que não existe nenhum requisito legal quanto à espessura. Contudo as geomembranas com maior espessura são mais resistentes, mas também são mais difíceis de aplicar por serem mais pesadas. Assim geomembranas com 1,5 ou 2 mm de espessura podem ser aplicadas, porém os custos de aquisição e aplicação seriam de 5 €/m² e 6 €/m² respetivamente, nas condições referidas anteriormente. Tendo em conta a área aplicar no aterro os

custos totais seriam de 35 798,9€ e 42 958,7€, respetivamente. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pela empresa

4.1.4.3.Solução da ISOPOL – Isolamentos Térmicos e Acústicos

A empresa ISOPOL apresenta uma solução que se prende com a aplicação de uma geomembrana de PEAD de 1mm. A aplicação destas telas realiza-se por sobreposição e por dupla soldadura térmica a quente. Esta membrana é fabricada por *Blown Film Process*, que tendo uma elevada resistência mecânica e química, possui um bom equilíbrio a nível estrutural, é resistente à tração, à perfuração e ao envelhecimento. A geomembrana permite uma correta funcionalidade até à selagem do aterro, sendo que posteriormente poderá ser utilizada como selagem. O custo associado à aquisição e aplicação desta geomembrana de PEAD ronda os 3,5 €/m² que em termos de aplicação na área a abordar no aterro de Santo Tirso teria um custo total de 25 059,2 €, onde a empresa garante a qualidade da mesma durante os 6 anos. Esta geomembrana de 1 mm, como foi dito pode ser utilizada na selagem do aterro, uma vez que não existe nenhum requisito legal que imponha uma espessura. Para comparação, os custos da geomembrana de 1,5 ou 2 mm de espessura, seriam de 4,5 €/m² e 6,5 €/m², respetivamente, nas condições referidas anteriormente. Tendo em conta a área aplicar de tela no aterro, os custos totais seriam de 32 219,01 € e 46 538,57 €, respetivamente. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pela empresa.

4.1.4.4.Solução da REEF Industries

Um produto passível de aplicação produzido pela Reef é o *Griffolyn® TX-1600 i* (Figura 25), consiste numa solução de cobertura temporária de aterro em que se aplica duas camadas de PEBD, com elevada resistência ultravioleta e uma georede de alta resistência para reforçar a estrutura. Ao todo a espessura da membrana é de 0,3 mm. É um material



Figura 25 - Tela drenante Griffolyn® TX-1600 i. (41)

muito leve mas ao mesmo tempo resistente, estando estabilizado com aditivos de resistência a raios UV, permite também um grande poder de alongamento adaptando-se naturalmente aos assentamentos sem danificação do material. Em termos de exposições às condições atmosféricas este tipo de material resiste com qualidade máxima durante 5 anos. O material é fixado através de sacos de areia ou pneus e pode ser aplicado pelos técnicos do aterro. O custo de aquisição desta membrana para cobertura temporária da área abordada no aterro seria de 22 199,71 €, incluindo custos de transporte para Portugal. Esta solução levanta questões em termos de garantia do funcionamento, porque não existindo soldadura as

telas podem deslocar ou pode ocorrer a sua perfuração. (41) Os dados referentes aos custos foram fornecidos diretamente pela empresa.

4.1.4.5. Solução da BBF – Tecnologias do Ambiente

A empresa BBF também apresenta uma solução para a cobertura temporária que consiste na aplicação de uma geomembrana de PEAD de 1 mm. Este material permite uma boa fixação através de soldadura térmica por sobreposição dos vários panos e por ancoragem na base dos taludes e nas banquetas através de aberturas de valas. A empresa garante a estabilidade do produto durante os 6 anos, em condições atmosféricas normais. O custo de fornecimento e aplicação é de 3,5 €/m² não incluindo trabalhos do preparação de terreno, abertura e fecho de valas e apoio de equipamento. Assim o custo geral de aplicação tendo em conta a área abordada seria de 25 059,2 €.

Esta geomembrana de 1 mm pode ser utilizada na selagem final do aterro, uma vez que não existe nenhum requisito legal que imponha uma espessura. A geomembranas com maior espessura são mais resistentes podendo ser mais plausível a sua aplicação na selagem. A geomembrana com 1,5 ou 2 mm tem custo de aplicação de 5 €/m² e 6 €/m², respetivamente, pelo que tendo em conta a área aplicar no aterro os custos totais seriam de 35 798,9 € e 42 958,7 €, respetivamente. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pela empresa.

4.1.4.6. Solução 3 da SOTECNISOL e HBB GEOSALES

Estas duas empresas apresentam a mesma solução, uma vez que estas telas são produzidas na Itália e revendidas por estas empresas. Esta tecnologia é designada “Cover Up Net Down”, que consiste na aplicação de uma tela de plástico e uma georede. A tela é composta por três camadas de polietileno, sendo que contém uma camada de PEAD que é reforçada pelos dois lados por camadas de PEBD, tendo uma espessura de 0,4 mm. Esta é a espessura normalmente utilizada, contudo existe a disponibilidade de espessuras de 0,6 e 0,8 mm. Para a aplicação no terreno os diferentes panos, ou seja porções de tela, são soldados e ancorados através da abertura de valas.

Na Figura 26, encontra-se uma imagem desta tela para derivação de águas pluviais. Tendo em conta que o sistema é o mesmo, a diferença encontra-se nos preços e nos serviços prestados. A SOTECNISOL estabeleceu um preço de 3,65 €/m² incluindo transporte e aplicação, contudo a RESINORTE tem de disponibilizar dois técnicos para auxiliar e ainda efetuar a abertura de valas e apoios de equipamento. Esta solução teria um custo de aplicação à área referida de 26 133,1 €.



Figura 26 - Tecnologia "Cover Up & Net Down" para drenagem de águas pluviais.

No caso da empresa HBB GEOSALES, o preço praticado é de 2,33 €/m², incluindo custos de transporte mas sem aplicação. Assim os custos totais de fornecimento tendo em conta a área a aplicar no aterro seria de 16 682,3 €. A HBB GEOSALES pode enviar uma equipa de 4 elementos com todos os materiais necessários com custos de 14 925 € em 7 dias. É de referir que esta tecnologia não pode ser usada na selagem, apenas se aplica como cobertura temporária.

Para a seleção das telas é necessário ter em conta vários fatores sendo que um fator predominante é custo de aquisição e aplicação descrito anteriormente.

Na Tabela 18, encontram-se os custos mensais de aplicações de telas num período de 6 anos e o valor de poupança com estas aplicações tendo em conta um valor médio mensal de 708,9 € decorrentes da diminuição da quantidade de lixiviados encaminhados para tratamento. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pelas empresas.

Tabela 18 - Custos mensais de colocação de telas e valor de poupança mensal no custo de tratamento de lixiviados.

Soluções	Custo Mensal (€)	Valor Teórico Poupança Mensal (€)
SOTECNISOL 1	198,9	510,0
SOTECNISOL 2 (1mm)	387,8	321,1
SOTECNISOL 2 (1,5 mm)	497,2	211,7
SOTECNISOL 2 (2 mm)	596,6	112,3
ISOPOL (1mm)	348,0	360,9
ISOPOL (1,5mm)	447,5	261,4
ISOPOL (2 mm)	646,4	62,5
REEF Industries	308,3	400,6
BBF (1mm)	348,0	360,9
BBF (1,5 mm)	497,2	211,7
BBF (2 mm)	596,6	112,3
SOTECNISOL 3*	363,0	345,9
HBB GEOSALES*	439,0	269,9

*A solução é mesma.

Através da Tabela 18, pode-se observar os custos mensais e os valores de poupança associados a cada uma das soluções apresentadas. Verifica-se que existem duas soluções que permitem valores de poupança mensal elevados quando comparado com as outras soluções, que é a solução 1 da SOTECNISOL e a solução da REEF Industries. Estas soluções têm um custo mais baixo, uma vez que a aplicação tem de ser realizada unicamente pelos técnicos do aterro e não se aplicam soldaduras térmicas. Ora isto leva a desvantagens pois o material pode desprender-se ou deteriorar-se com mais facilidade deixando de cumprir a função destinada. Assim, do ponto de vista de segurança do investimento, apreende-se que estas duas soluções não deveriam ser aplicadas.

A solução da empresa HBB GEOSALES é a mesma que a solução 3 da SOTECNISOL, contudo tendo em conta as mesmas características em termos de material e de serviços a SOTECNISOL apresenta uma solução mais económica. Deste modo a solução da HBB GEOSALES seria refutada.

Ficam em cima da mesa as soluções com soldadura térmica, ou seja, as soluções de aplicação de geomembrana PEAD e a solução 3 da SOTECNISOL correspondente à aplicação da tecnologia “Cover Up & Net Down”.

Deste modo, comparando primeiro a solução de telas temporárias nomeadamente as geomembranas de 1 mm da SOTECNISOL, BBF e ISOPOL e a solução 3 da SOTECNISOL, considera-se que estas soluções apresentam características idênticas quanto a resistência a temperaturas extremas, permeabilidade a líquidos, durabilidade e condições de serviços prestados na aplicação. É difícil realizar a avaliação da aplicação das diferentes soluções através das características técnicas, uma vez que os testes efetuados variam tanto nas normas seguidas bem como nas condições de ensaio e existem características que não são apresentadas nas fichas técnicas de todas as soluções. Há também uma dificuldade associada à seleção das características técnicas mais importantes em termos de aplicação para cobertura de aterro. No geral as soluções são todas passíveis de aplicação, uma vez que em termos de características técnicas são semelhantes, contudo, por exemplo, no caso da adaptação das telas aos assentamentos, a solução 3 da SOTECNISOL será menos adaptável quando comparável com as geomembranas de PEAD, porém em termos de resistência mecânica será mais adequada, contudo também não se espera que ocorram ações de puncionamento sobre as telas.

Uma outra questão importante prende-se com a estanquidade ao gás, no aterro de Santo Tirso pretende-se no futuro aproveitar o biogás para produção de energia elétrica. Nem todas as fichas técnicas das soluções apresentam esses dados, contudo a ISOPOL e a solução 3 da SOTECNISOL apresentam valores de estanquidade a gás muito elevados.

A solução a aplicar no caso de telas temporárias poderia ser qualquer uma das 4 apresentadas, mas tendo em consideração os custos, a aplicação da geomembrana da ISOPOL ou da BBF são as mais económicas, com um custo mensal de 348 € em 6 anos.

A aplicação de telas que tanto permitem um funcionamento como cobertura temporária e que são normalmente aplicadas na selagem do aterro consistem numa solução distinta das outras, desde logo pelo custo associado. Estas soluções, que consistem na aplicação de geomembranas de PEAD com espessuras de 1,5 e 2 mm são mais adequadas para a selagem do aterro. Os custos iniciais da aplicação são superiores, contudo verifica-se pela Tabela 18, que estas geomembranas seriam pagas ao fim de 6 anos tendo em conta a redução da produção de lixiviados. Além disso as telas são mais resistentes, o que torna esta solução mais indicada em termos económicos que as anteriores. Assim dentro destas soluções a mais indicada seria a da empresa ISOPOL, com a geomembrana de PEAD 1,5 mm e com um custo mensal de 447,5 euros em 6 anos.

Pode-se então concluir que a melhor forma de desviar águas pluviais do aterro é através da colocação de telas impermeáveis. A escolha da tela mais adequada depende de vários fatores, contudo o fator determinante será porventura o custo das telas, mas há que equacionar a sua durabilidade e utilização futura. Se existem soluções que inicialmente tem custos mais elevados mas que permitem uma maior funcionalidade e no fim de contas podem até ser mais rentáveis economicamente, então dever-se-ia escolher essa opção. Contudo esta opção exige um investimento inicial significativamente mais elevado pelo que há que ter em conta essa questão.

4.2. Controlo de Aves

Desde Junho de 2012 que a presença de um grupo muito significativo de gaivotas é uma constante no aterro de Santo Tirso. Estas aves aparecem em maior número quando existe uma tempestade no mar, pois as condições atmosféricas não são propícias à pesca. A localização do aterro é próxima da costa cerca de 19 km em linha reta, e portanto encontra-se no alcance destas aves. Há dias que se encontram milhares de gaivotas no aterro, estas acabam por arrastar os resíduos para outros locais que não o aterro. Estas deslocam-se muitas vezes para as zonas urbanas, sendo assim uma preocupação em termos de saúde pública, como já foi por diversas vezes referido. Na Figura 27, pode-se observar a quantidade de gaivotas em aterro. As gaivotas viajam todos os dias do local de pernoita para o aterro de Santo Tirso chegando de manhã e permanecendo até ao anoitecer, não existindo qualquer mecanismo de dissuasão.



Figura 27 - Gaivotas a sobrevoar o aterro de Santo Tirso em 2013.

O comportamento destas varia ao longo da semana, verificou-se que à segunda-feira aparecem em maior número, sendo que este vai diminuindo ao longo da semana, até sexta-feira. Ao sábado e ao domingo não decorrem trabalhos no aterro, sendo que o número de gaivotas aumenta consideravelmente devido à ausência de técnicos no local. As gaivotas são animais inteligentes e com um sentido de orientação elevado, compreendendo as situações e adaptando-se facilmente a horários.

No aterro já se avistou aves de rapina que afugentaram as gaivotas, pensa-se que essas aves seriam ou a águia de asa-redonda ou o milhafre preto, que são as aves mais comuns na área. (42)

Existem várias formas de efetuar o controlo de gaivotas, como referido anteriormente, todas essas soluções quando aplicadas separadamente causam habituação das aves, com exceção das redes e da utilização de serviços de falcoaria, como verificado pela avaliação de diferentes casos. As redes não se apresentam como uma solução para o aterro de Santo Tirso devido ao modo de exploração do aterro, em que constantemente se teria que mudar as redes de sítio e também devido à pequena área, que iria conduzir a dificuldades de manobrimento das máquinas. As empresas contactadas referiram que esta

técnica não é aplicada em Portugal e leva a dificuldades na execução do projeto devido à aplicação a uma área instável.

As técnicas letais de controlo de aves como avicidas ou recurso a armas de fogo não consistem numa solução, uma vez que não se pretende matar os animais por razões legais, ambientais e ecológicas.

Uma das soluções que pode ser equacionada é a aplicação de sistemas sonoros de dispersão de aves que permite a emissão automática e aleatória de sons, podendo funcionar 24 horas/dia e 7 dias/semana. Este sistema funciona utilizando sons de alarme naturais de aves, ou seja, o som de aves em agonia criando um ambiente hostil para as aves que passa despercebido pelos seres humanos. Estes equipamentos funcionam a energia elétrica facultada por energia da rede, baterias ou painéis solares.

Nas imagens seguintes encontram-se os sistemas de dispersão de aves da empresa NOVALEC.

Esta empresa apresenta um sistema de dispersão designado de “Scarecrow Compact”, que pode ter várias variantes sendo as que mais interessam são o Compact 1312 e o Compact 1313. O Compact 1312 é uma versão simples que é colocada num poste com 2 metros de altura, possibilitando a emissão de sons num angulo de 360°, esta versão pode-se observar na Figura 28.



Figura 28 - Sistema de dispersão de aves Compact 1312.

O sistema Compact 1313 é semelhante ao anterior, sendo colocado num poste de 2 metros de altura, tendo uma base de 1 m². Permite uma difusão do som em 360° e possui um painel solar e baterias que permite independência da rede elétrica. O sistema Compact 1313 encontra-se na Figura 29.



Figura 29 - Sistema de dispersão de aves Compact 1313.

Tendo em conta as áreas de abrangência destes aparelhos seria necessária a aplicação de 7 aparelhos no aterro de Santo Tirso. O custo unitário do Compact 1312 é de 636,92 € e do Compact 1313 é de 3 618,46 €. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pela empresa.

A empresa PESTOX possui sistemas de dispersão de aves semelhantes aos referidos anteriormente contudo estes são aparelhos sónicos de emissão de sons de aves de presa. Estes aparelhos são colocados em postes, possuindo uma área de alcance de 20 000 m². Tendo em conta área do aterro, seria necessário cerca de 4 aparelhos, cujo custo unitário é de 1 000 €. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pela empresa.

Uma outra solução para realizar o controlo de gaivotas seria o recurso a serviços de falcoaria. Contactaram-se duas empresas, a VOLATARIA e a empresa de falcoaria ByMAP. A empresa VOLATARIA apresenta o recurso a falcões em conjunto com outras técnicas de dissuasão de aves e a empresa ByMAP apresenta apenas a solução de utilização de falcões.

A VOLATARIA é uma empresa com sede em Cascais, sendo que esta empresa propõe a colocação de uma ave de rapina (falcão) no aterro durante 24 horas/dia, estando incluído a colocação de um contentor para pernoita da ave de rapina e para arrumação dos acessórios necessários para o tratamento da ave. Esta solução consiste na utilização do falcão sempre que possível, apenas quando este não pode voar é que se utilizam as técnicas complementares como papagaios e canhões de gás.

A aplicação poderá ocorrer num período de 8 horas/dia em 5 dias úteis ou 24 horas/dia. Os custos associados são de 100 €/dia para o período de 8 horas em 5 dias úteis por semana e 150 €/dia quando aplicado de sol a sol. Contudo estes podem ainda ser superiores, porque o responsável da empresa referiu que apenas com uma visita ao aterro poderia fornecer valores exatos, os valores fornecidos são aplicáveis à zona de Lisboa e daí se compreende que os custos de aplicação no aterro de Santo Tirso devem certamente ser superiores. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pela empresa.

A empresa ByMAP está sediada numa zona próxima do aterro, na Trofa o que facilita a deslocação dos falcoeiros, diminuindo os custos. A solução proposta consiste na colocação de uma ou mais aves de rapina. Devido à proximidade da empresa ao aterro não é necessário a colocação de um contentor de apoio. O custo desta solução seria de 90 €/dia num período de 8 horas e em 5 dias úteis, neste caso, a empresa considera que os horários de presença das aves de rapina deveriam ser mais flexíveis adaptando-se à luz solar. Nesta situação poderia haver dias em que a ave estaria apenas 5 horas no aterro e outros em que estaria 10 horas. Existe também outra proposta que consiste na presença da ave de rapina 7 dias/semana, aplicando-se as mesmas questões da adaptação à luz solar, o custo nos dias de fim de semana é de 115 €/dia, mantendo-se de 90 €/dia nos dias úteis.

A seguir apresentam-se na Tabela 19, os custos das diferentes técnicas, atendendo a um período de aplicação de Setembro de 2013 até 2015, data em que se espera ter atingido a capacidade de encaixe no aterro, o que corresponde a 16 meses. Todos os dados referidos foram fornecidos diretamente pelas empresas.

Tabela 19 - Custo das soluções de controlo de aves.

Soluções	Custos Mensais (€)
Sistema Dispersão Sonoro Compact 1312	278,7
Sistema Dispersão Sonoro Compact 1313	1 583,1
Sistema de Dispersão Sonoro PESTOX	250,0
Falcoaria (Volataria) 8 h	2 031,3
Falcoaria (Volataria) 24 h	4 565,6
Falcoaria (ByMAP) 8 h	1 828,1
Falcoaria (ByMap) 7 dias/semana	2 992,5

Através da Tabela 19, verifica-se que as soluções mais económicas são os sistemas de dispersão sonoros, entre esses destaca-se o sistema da NOVALEC Compact 1312 e o sistema sonoro PESTOX.

Estes sistemas são simples e necessitam de eletricidade por cabo e isso pode ser uma dificuldade, a outra solução de sistema de sonoros de dispersão é o sistema Compact 1313, da NOVALEC que tem custos bastantes superiores contudo permite um funcionamento independente, pois pode obter energia elétrica a partir de painel solar. Este tipo de soluções podem ter eficácia ou não dependendo das situações. Tentou-se efetuar um teste no aterro de Santo Tirso com estes equipamentos contudo não foi possível. O que se sabe destes sistemas é que quando são aplicados continuamente podem causar habituação das aves e assim a sua aplicação torna-se obsoleta e sem retorno do investimento.

A solução do recurso a aves de rapina, como falcões é a solução mais eficaz das abordadas, como comprovado através de aplicações noutros aterros. No caso do aterro de Santo Tirso, verifica-se que tendo em conta o comportamento observado das aves, o recurso à falcoaria poderia ser explorado num período de 8 horas em 5 dias úteis ou apenas nas horas diurnas. Num horário de 8 horas diárias as gaivotas habituar-se-iam e após a ida do falcoeiro estas voltariam ao aterro, a solução de acompanhar a situação com um falcoeiro durante as horas diurnas seria muito mais eficaz. A empresa ByMap parece ser de facto a melhor solução uma vez que a localização da empresa próxima do aterro faz com que os custos associados sejam muito menores e o plano horário também é mais abrangente e flexível quando comparado com a empresa VOLATARIA, cujos custos devem ser ainda superiores aos apresentados. Através destas considerações apreende-se que devido ao maior número de gaivotas no aterro ao fim de semana, a solução da ByMAP com a presença em 7 dias/semana da ave de rapina no aterro seria o mais indicado mesmo em termos de custos mensais.

4.3.Cobertura Diária

No aterro de Santo Tirso existe uma célula diária aberta que tem uma área constante de 1 000 m², esta área vai avançando de acordo com o enchimento do aterro com resíduos. No aterro de Santo Tirso apenas ocorre a colocação de terras quando uma célula está completamente preenchida atingindo a cota máxima. O solo existente no aterro, como já referido consiste em grauvaques e xistos de diversas granulometrias, sendo que predominam as maiores. A diminuição dessa granulometria através de trituração não originaria um aumento substancial de eficácia e requeria um enorme gasto em termos económicos, não sendo uma solução viável.

A solução mais correta seria a compra de terras argilosas, devido à sua reduzida permeabilidade. Os custos de aquisição de terras tem pouca influência no valor final, contudo, os custos de transporte são elevadíssimos, o que condiciona a compra. As soluções propostas para a realização da cobertura diária são a obtenção de terras ao menor custo possível ou a aplicação de uma tecnologia de aplicação de filme plástico. Em termos temporais considera-se a aplicação das coberturas diárias num universo de 16 meses, considerando o início em Setembro de 2013 e o fim em Janeiro de 2015, porque se espera que

dentro desta data se tenha atingido a capacidade de encaixe de resíduos no aterro e deste modo não se efetue mais deposição não sendo necessário realizar cobertura.

A empresa EPI desenvolveu uma solução se designa de Enviro Cover System, que consiste numa cobertura diária de resíduos com um filme plástico de polietileno, que possui uma elevada resistência mecânica e biodegradável quando soterrado. Neste caso o que se faz é o envolvimento dos resíduos depositados com filme, isto consegue-se através de

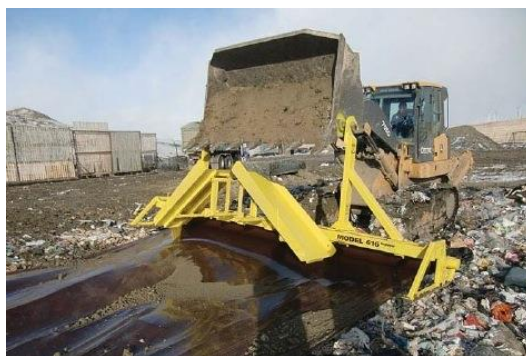


Figura 30 - Equipamento "Deployer" 616, aplicado a uma pá carregadora de rastos.

um equipamento aplicador designado de "deployer", que se pode encaixar no balde de uma pá carregadora ou trator de rastos como se pode ver na Figura 30. Este equipamento permite aplicar 1 000 m² de filme numa hora, sendo que para a sua aplicação também se necessita de terra de baixa granulometria. Esta solução permite aumentar tempo de vida útil do aterro devido a um menor uso de terras na cobertura diária, permite movimento de gases devido à biodegradabilidade do filme quando enterrado e migração de lixiviados. (43)

Este filme não ocupa volume quando soterrado, uma vez que a sua degradação lenta inicia-se ao fim de 6-7 dias, porém tem uma maior capacidade de resistência à degradação em caso de ser usado como cobertura superficial. O filme degrada-se mais rapidamente se estiver exposto conjuntamente a três fatores, a raios ultravioleta, calor e vibração mecânica. Este filme permite evitar a emissão de odores, proliferação de vetores de doenças, risco de incêndio e evita a dispersão de resíduos leves pelo vento.

O filme plástico é produzido nos EUA em rolos de 11 119 m² e uma largura de 4,88 m. Este material só pode ser mantido em reserva durante um período de 6 meses devido à sua degradação. Cada rolo custa 3 500 €, o aplicador cerca de 8 000 € e o transporte para Portugal cerca de 1 500 €. (43)

O aterro de Santo Tirso funcionará até 2015 atendendo à capacidade de encaixe de resíduos e a área de deposição diária é de 1 000 m². Os trabalhos no aterro decorrem durante 5 dias úteis por semana, e tendo em conta a aplicação da tecnologia de Setembro de 2013 até 2015 (data em que se prevê que se atinja a capacidade de encaixe de resíduos no aterro), verifica-se que existem cerca de 325 dias úteis em que seria necessário a colocação do filme de plástico, o que tendo em conta a área de deposição, necessitar-se-ia de 325 000 m² de filme plástico. Devido à duração do filme plástico quando armazenado, seriam necessários cerca de 3 transportes de filmes, cujos custos ascenderiam a 4 500 €. Na Tabela 20, encontram-se os custos mensais durante 16 meses e as quantidades necessárias para a aplicação no aterro de Santo Tirso. (43)

Tabela 20 - Custo da aplicação da tecnologia de cobertura diária aplicada ao aterro de Santo Tirso.

Material	Unidades	Custo (€)	Custo Mensal (€)
Rolo de Filme (11 119 m²)	30	105 000,0	6 562,5
Equipamento “Deployer 616”	1	8 000,0	500,0
Custos de Transporte	3	4 500,0	281,3
Custo de Aplicação	-	1 690,0	105,6
Custo Total	-	119 190,0	7 449,4

Verifica-se através da Tabela 20, que o custo total mensal da aplicação da tecnologia Enviro Cover System considerando o período afeto, para cobertura diária no aterro de Santo Tirso, é de 7 449,4 €/mês. Nos custos de aplicação através da pá carregadora do trator apenas são contabilizados os consumos de gasóleo numa hora, uma vez que a manutenção é realizada por uma entidade externa através de contrato celebrado com a RESINORTE S.A.. A aplicação do filme plástico demora cerca de uma hora, o que pode sobrecarregar os trabalhos no aterro. Em termos práticos a aplicação em espaços reduzidos e em condições atmosféricas adversas levanta questões de aplicabilidade.

A solução de aquisição de terras de baixo custo, visa inverter a falta de terras no aterro por forma a efetuar as coberturas diárias. Deste modo efetuou-se um estudo que permitiu verificar quais os locais próximos do aterro onde se poderia obter terras para esse efeito. Assim, pesquisou-se as pedreiras próximas do aterro, tendo-se efetuado visitas aos locais, onde através dos responsáveis das pedreiras identificou-se as terras existentes e as condições de compra das mesmas.

A zona de Sanfins de Ferreira revelou ser a zona mais interessante pela concentração de várias pedreiras. Contudo também se identificou uma pedreira em Lordelo, concelho de Guimarães, mas que não obtém terra dos trabalhos realizados. Na zona de Sanfins verificou-se a existência de dois proprietários que forneciam terras, que serão designados de proprietário 1 e 2. O proprietário 1 oferece terra de uma zona florestal, a terra poderá conter grandes quantidades de pedras e outros detritos. O proprietário 2 vende uma mistura de terra preta com brita de pequena granulometria obtida após processos de trituração, contudo este tem um preço estabelecido de 1 €/t. Em ambos os casos os transportes teriam de ser realizados pela RESINORTE S.A..

O custo de transporte no caso desta solução é o custo mais elevado, ora esse custo depende da distância a efetuar, tendo-se verificado que zona das pedreiras se situa a 16,5 km do aterro de Santo Tirso. O transporte num camião com carga de 20 m³, tem um custo que depende do desgaste de pneus, manutenção, combustível e custo por hora do condutor. Na Tabela 21, apresenta-se os custos de transporte, bem como o valor referente ao transporte a realizar. Estes dados foram fornecidos pela RESINORTE S.A..

Tabela 21 - Custos de transporte de terras por hora.

Encargos no Transporte	Custos (€)
Gastos de Gasóleo	18
Manutenção/Pneus/Desgaste/Condutor	5
Total	23

Como se pode verificar pela Tabela 21, os custos de transporte são elevados comparando com o custo de aquisição de terras. Na Tabela 22 apresentam-se os custos da obtenção de terras a partir de cada proprietário incluindo além do transporte o custo de aquisição das terras, considerando 12 t de terra por transporte.

Tabela 22 - Custo de aquisição de terras em dois proprietários.

Encargos no Transporte	Custos (€)
Proprietário 1	23
Proprietário 2	35

Verifica-se pela Tabela 22, que os custos de aquisição de terras são semelhantes, contudo um fator decisivo é a escolha das terras com maior qualidade, porém essa qualidade não se pode confirmar. As terras do proprietário 1, como foi referido podem possuir pedras e detritos, enquanto as do proprietário 2 não possuem detritos nem pedras sendo assim uma vantagem. Tendo em conta este fator conclui-se que seria mais indicado a compra das terras ao proprietário 2.

As soluções apresentadas para a cobertura diária dos resíduos são soluções distintas, e não podem ser de certa forma comparáveis. O normal em termos de cobertura da célula diária de deposição de resíduos é a colocação de terras, contudo com a falta destas a solução pode passar pela aplicação de tecnologias como o filme plástico, porém este também necessita de terra de baixa granulometria não ficando claro quais as quantidades necessárias para a sua aplicação. O custo desta solução é elevado podendo ser um entrave à sua aplicação.

Verifica-se que das soluções de aquisição de terras, a melhor passa pela aquisição ao proprietário 2, com um custo de transporte e aquisição de 35 € por carga de 12 t. Contudo, ao custo de transporte há que somar custos de aplicação das terras e determinar a quantidade efetivamente necessária para deposição. Em termos globais sabe-se que para a exploração e selagem de um aterro é sempre necessário ter terras e por isso a melhor solução será sempre arranjar uma forma de as obter. Como a aplicação de filme também necessita de terras a total ausência destas em aterro não é plausível. A melhor solução passará sempre por adquirir terra ou arranjar quem entregue terra no aterro de Santo Tirso.

4.4. “Landfill Mining” no Aterro de Santo Tirso

Uma das formas de aumentar a capacidade de encaixe de resíduos no aterro de Santo Tirso e ainda obter terras para cobertura seria através da remoção de resíduos depositados, sendo esta técnica designada de “Landfill Mining”. No aterro de Santo Tirso existem locais que contêm resíduos que foram depositados há alguns anos, deste modo, a degradação da matéria orgânica putrescível já decorreu, sendo expectável encontrar-se maioritariamente plásticos, metais, têxteis e outros materiais não biodegradáveis.

A escavação em determinadas zonas do aterro de Santo Tirso é possível, uma vez que existem zonas que não fazem parte da zona de intervenção. Na Figura 31, pode-se observar através do corte transversal do talude uma grande quantidade de plásticos depositados que poderiam teoricamente ser valorizados, assim como a clara noção de material já estabilizado.



Figura 31 - Corte transversal de um talude do aterro.

Em termos de quantidade de resíduos depositados no aterro de Santo Tirso sabe-se que entre 1995 e 2012 foram depositados cerca de 1 194 002,73 t de resíduos com um volume de 1 150 291 m³. Como o aterro tem diferentes profundidades não se pode afirmar que uma determinada zona tem um determinado volume ou uma quantidade específica de resíduos.

De forma a obter um valor mais real da quantidade de plásticos e metais existentes no aterro de Santo Tirso, efetuou-se a realização de amostragens no sentido de determinar a massa volúmica e percentagem mássica de plásticos e metal na célula de deposição diária e numa zona mais antiga cuja degradação de grande parte de matéria orgânica já tenha ocorrido. Na Figura 32, encontram-se os locais usados para amostragem.



Figura 32 - Local de realização de amostragens na zona de deposição (à esquerda). Local de realização de amostragens na zona mais antiga (à direita).

Para a realização das amostragens utilizou-se um balde, pá e uma balança. A realização das amostragens consistiu em verificar o volume do balde, determinar os locais de realização de amostras, colocação de resíduos no balde, para posterior pesagem dos resíduos através da balança, e registo da pesagem. Para a determinação da massa volúmica de plástico e metal apenas se colocou materiais

destas tipologias no balde. Estes materiais foram acondicionados da melhor forma mas sem compactar. No caso da determinação das percentagens mássicas, colocou-se uma amostra de um material depositado no balde e compactou-se tentando aproximar da situação real no aterro. Na Figura 33, encontram-se algumas imagens do processo e materiais.



Figura 33 - Material utilizado na realização das amostragens (balança, pá e balde).

Com esta metodologia realizaram-se 10 amostragens, 5 na zona de deposição e 5 na zona antiga do aterro. Os resultados obtidos através da aplicação da metodologia na zona antiga, encontram-se na Tabela 23.

Tabela 23 - Massa volúmica de plástico e metal na zona antiga do aterro.

Amostra	Pesagem (kg)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Desvio Padrão (kg/m ³)
1	2,5	192,3	32,2
2	2,0	153,9	
3	2,5	192,3	
4	3,0	230,8	
5	3,0	230,8	
Média	2,6	200,0	-

Através da Tabela 23, verifica-se que das 5 amostragens a média de pesagem é de 2,6 kg para um volume de 13 L e deste modo a massa volúmica média obtida é de 200,0 kg/m³. O desvio padrão deste conjunto de amostras é 32,2 kg/m³.

Os resultados obtidos através da aplicação da metodologia na zona de deposição diária de resíduos, encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24 - Massa volúmica de plástico e metal na zona de deposição diária.

Amostra	Pesagem (kg)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Desvio Padrão (kg/m ³)
1	1,5	115,4	22,7
2	1,4	107,7	
3	2,0	153,9	
4	1,2	92,3	
5	1,5	115,4	
Média	1,5	116,9	-

Através da Tabela 24, verifica-se que das 5 amostragens a média de pesagem corresponde a 1,52 kg para um volume de 13 L e deste modo a massa volúmica média obtida é de 116,9 kg/m³. É de realçar que

os resíduos foram acomodados no balde mas não compactados. O desvio padrão deste conjunto de amostras é 22,7 kg/m³. Ao verificar os valores de massa volúmica obtidos, apreende-se que a massa volúmica de plásticos e metais na zona mais antiga é 41,6% superior à massa volúmica da zona de deposição diária, isto é explicado pelo grau de compactação dos resíduos, que na zona antiga é superior, o que leva a que peso seja maior para o mesmo volume.

As massas volúmicas obtidas não permitem determinar o volume de plásticos e metais existentes pela quantidade total de resíduos depositados no aterro, apenas permitem aferir que à medida que ocorre deposição de resíduos estes ficam mais compactados, o que leva ao aumento da massa volúmica, como seria de esperar. Isto, porque o grau de compactação das amostras na zona antiga foi muito difícil de reproduzir na análise e sabe-se também que o volume que resulta da determinação com a massa volúmica não corresponderá apenas a plásticos pois os espaços intersticiais estarão também ocupados por outros resíduos.

Pelas caracterizações realizadas pela RESINORTE nos últimos três anos, obteve-se os valores da massa volúmica dos plásticos e metais oriundos do refugo do tratamento mecânico e biológico e da recolha de resíduos urbanos indiferenciados, correspondendo a 355 kg/m³ e 202 kg/m³, respetivamente. Estes valores são referentes a resíduos que seguem para aterro, com a compactação espera-se que as massas volúmicas sejam superiores. Contudo as massas volúmicas de plástico que advêm da TMB e dos RU indiferenciados são 81 kg/m³ e 46,5 kg/m³, respetivamente, estes valores são importantes pois nas amostragens anteriores a maioria dos materiais eram plásticos.

As caracterizações de resíduos urbanos indiferenciados e de refugo de TMB depositados no aterro demonstraram que a percentagem em massa de plástico e metal depositado corresponde a 12% e 32%, respetivamente. A partir destes valores e da quantidade de resíduos depositados em cada ano obteve-se a quantidade de resíduos de plástico e metal existentes no aterro desde 1995 a 2012, que é 314 122,7 t, que corresponde 26,7% da totalidade de resíduos depositados. Esta é a quantidade total de plástico e metal que se poderia teoricamente retirar do aterro. A quantidade de resíduos da zona antiga depositados até 2009, corresponde a 263 497 t de plástico e metal.

A densidade média dos resíduos depositados nos últimos três anos é de 1,27 t/m³ segundo o levantamento topográfico. A partir deste valor determina-se que o volume de plásticos e metais será pelo menos de 247 340,7 m³. De salientar que este cálculo pode não ser indicativo do volume real de plásticos e metais existentes no aterro.

Foi também avaliada a composição física dos resíduos, em termos de plástico e metal, nesse caso realizaram-se 5 amostragens em que se pesaram amostras de resíduos de todos os constituintes com recurso a um balde utilizando a mesma metodologia que a anterior contudo realizou-se compactação dos resíduos na sua condição de deposição e separação posterior e pesagem dos resíduos de plástico e metal.

Os valores de percentagem mássica obtida de plástico e metal na zona de deposição diária encontram-se apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 - Percentagem mássica de plástico e metal na zona de deposição diária.

Amostra	Pesagem (kg)	Peso Plástico/Metal (kg)	Percentagem Mássica (%)
1	5,0	1,5	30,0
2	4,5	1,5	33,3
3	4,0	1,9	47,5
4	5,5	2,0	36,4
5	4,0	1,5	37,5
Média	4,6	1,7	37,0

Verifica-se através da Tabela 25 que a percentagem mássica média de plásticos e metais obtida é de 37%. Apreende-se facilmente que 63% da massa de resíduos depositados na célula de deposição diária corresponde a resíduos orgânicos, têxteis e outros materiais, contudo nos orgânicos encontra-se uma grande quantidade de papel/cartão e restos de alimentos entre outros resíduos desta tipologia.

Com novo tratamento mecânico e biológico, a RESINORTE passou a encaminhar maior quantidade de resíduos urbanos de recolha indiferenciada para a estação de tratamento e menor quantidade para o aterro de Santo Tirso, sendo por isso enviada uma maior quantidade de refugos para aterro.

Deste modo, na célula de deposição diária deveria existir uma maior quantidade de resíduos provenientes de refugos quando se realizou as amostragens, o que originou percentagens mássicas de plástico e metal muito semelhantes aos valores da caracterização teórica, porém essa percentagem não deverá ser tão elevada. A razão para que a percentagem mássica seja ligeiramente superior aos valores teóricos, talvez seja a compactação realizada.

A percentagem mássica de plástico e metal na zona de deposição diária não se encontra muito longe dos 26,7% contido no aterro, sendo a diferença causada pelas razões referidas anteriormente.

Na Tabela 26, apresenta-se os valores obtidos de percentagem mássica para a zona mais antiga do aterro, onde quase toda a matéria orgânica já se degradou.

Tabela 26 - Percentagem mássica de plástico e metal na zona antiga.

Amostra	Pesagem (kg)	Peso Plástico/Metal (kg)	Percentagem Mássica (%)
1	7,0	4,5	64,3
2	5,5	4,0	72,7
3	6,0	4,0	66,7
4	6,0	4,5	75,0
5	6,5	5,0	76,9
Média	6,2	4,4	71,0

Verifica-se através da Tabela 26, que a percentagem mássica média de plásticos e metais obtida é de 71%. Apreende-se que sendo uma zona de deposição antiga de resíduos, a maior parte orgânica já se tenha degradado, daí essa elevada percentagem mássica. Sendo assim a percentagem restante de 21% do total da massa de resíduos corresponde essencialmente a terras cobertura, matéria orgânica

humificada e têxteis entre outros materiais. Nestes locais pode-se verificar que as quantidades de plástico e metal são muito superiores às quantidades de outros tipos de resíduos. Sendo que os resíduos do local de amostragem foram depositados em 2009, afere-se que percentagem mássica de plástico e metal nos resíduos mais antigos seja igual ou maior, o que denota a existência de grandes quantidades de plástico e metal depositado face a outros resíduos.

Teoricamente pode-se retirar determinadas quantidades de resíduos de plástico e metal do aterro aumentando-se a capacidade de encaixe do mesmo, contudo só se poderia viabilizar a técnica “Landfill Mining” no aterro de Santo Tirso após colocação de uma amostra de resíduos retirados do aterro no tratamento mecânico e biológico.

Para a realização dessa amostragem, ter-se-ia que realizar a escavação de um local do aterro de Santo Tirso e realizar o encaminhamento dos resíduos para a estação de tratamento mecânico e biológico em Riba de Ave, cuja distância é de 17 km. O transporte seria realizado por um camião da empresa com capacidade de transporte para 30 m³ de volume de resíduos. Os custos associados ao transporte de uma carga seria cerca de 24 €, contando com custos de manutenção, pneus e horas-homem trabalhadas. A escavação com recurso à máquina giratória escavadora de rastos seria cerca de 34 €/hora, sendo que representa apenas o custo de gasóleo, pois o custo de manutenção não se engloba, uma vez que é realizada por uma empresa externa.

A realização da escavação no aterro de Santo Tirso poderia ser realizável com recurso à maquinaria existente no aterro. O aterro possui um camião articulado, um trator e uma máquina escavadora giratória de rastos que poderiam ser utilizadas na escavação do aterro.

A quantidade de resíduos utilizados para amostra seria de cerca 10 t e antes da colocação de resíduos no camião, os técnicos do aterro deveriam retirar da massa de resíduos terras, plantas e materiais inertes de grandes dimensões, uma vez que estes poderiam originar problemas nos equipamentos do tratamento mecânico e biológico.

Depois a máquina escavadora colocaria os resíduos remanescentes do processo anterior no camião que posteriormente transportaria para a estação em Riba de Ave. Os resíduos que se esperaria encontrar já foram anteriormente referidos.

Por questões de procedimento seria necessário que os materiais de maiores dimensões fossem removidos manualmente pelos técnicos no início do processo, contudo, não se espera a existência de grandes quantidades de resíduos volumosos. A matéria orgânica humificada existente seria separada ao longo do processo mecânico e encaminhada para o tratamento biológico para produção de composto. Os materiais inertes e vidro até 50 mm seriam separados no balístico e encaminhados para o tratamento biológico originando um composto com menor qualidade, uma vez que no tratamento normal a percentagem de inertes é reduzida e deste modo o melhor seria retirar estes materiais do processo e encaminhá-los para aterro. Os resíduos metálicos ferrosos seriam separados por íman magnético.

Os filmes plásticos seriam separados no separador ótico, depois prensados e enfardados. Os plásticos rolantes (pacote de iogurte, garrafas entre outros) seriam encaminhados para a triagem.

Através da realização da amostragem conseguir-se-ia determinar quais as quantidades efetivas de plástico e metal que se podia obter através da técnica de “Landfill Mining”.

Uma das questões fundamentais seria qual o tipo de valorização dos resíduos obtidos, normalmente os resíduos plásticos e metal separados por tratamento mecânico e biológico são valorizados através de aproveitamento por empresas recicladoras. Os plásticos não são encaminhados para incineração, uma vez que as empresas incineradoras o rejeitam devido a terem uma humidade elevada.

Tendo em conta estes fatores, os plásticos recuperados também deveriam seguir aproveitamento por empresas recicladoras, sendo que o seu aproveitamento para incineração seria posta de parte uma vez que a humidade destes resíduos é elevada face à exposição às condições climáticas.

Porém sabe-se que existe muita dificuldade em escoar os materiais de plástico e metal obtido através do tratamento mecânico e biológico de resíduos urbanos indiferenciados e tendo em conta que os resíduos depositados em aterro teriam ainda menos qualidade, o seu escoamento seria ainda mais difícil, podendo mesmo não ser viável, pois os custos relacionados com o “Landfill Mining” são elevados.

O ensaio programado para a central não se pôde realizar, uma vez que ocorreu uma avaria no tratamento mecânico e biológico que originou uma paragem desse processo, acumulando-se grandes quantidades de resíduos, espera-se que no futuro se possa realizar esta avaliação.

5. Conclusões

Com a realização deste trabalho pretendeu-se analisar a gestão de resíduos no aterro de Santo Tirso e apresentar propostas de ação. Nesse sentido efetuaram-se vários estudos como a caracterização dos resíduos depositados no aterro (quantidades e diferentes tipologias) por forma a avaliar a sua influência, concretamente, na produção de lixiviado. Realizou-se um estudo comparativo entre a quantidade de lixiviados produzidos e a precipitação ocorrida na área do aterro de Santo Tirso nos últimos três anos. Verificou-se que devido à falta de terras de cobertura adequadas e pelo facto do sistema de drenagem de águas pluviais relativas ao confinamento do aterro estar a funcionar como um sistema de drenagem de lixiviados, quase toda a precipitação que ocorre na área do aterro origina lixiviados, também se concluiu que os dados meteorológicos da estação de Pedras Rubras não serão os mais indicados nem representativos no que diz respeito à precipitação na área do aterro de Santo Tirso.

Efetuiu-se uma análise dos custos de tratamento de lixiviados em diferentes aterros por forma a concluir qual a melhor solução de tratamento. Compararam-se os custos de 3 métodos diferentes de tratamento em 5 aterros durante o ano de 2012, sendo eles o aterro de Santo Tirso, Celorico de Basto, Boticas, Bigorne (pertencentes à RESINORTE S.A.) e Sermonde (pertencente à SULDOURO S.A.). No aterro de Santo Tirso os lixiviados são encaminhados para a ETAR da Agra. Os custos associados ao tratamento de lixiviados no aterro de Santo Tirso são de 1,29 €/m³, os custos conjugados associados ao tratamento por osmose inversa nos outros aterros da RESINORTE foram 6,17 €/m³ e os custos associados ao tratamento no aterro de Sermonde foram de 12 €/m³. Através destes valores conclui-se que de facto o aterro de Santo Tirso tem um posicionamento privilegiado que permite menores custos com o tratamento do lixiviados comparativamente com outros aterros mas que ainda assim estes são significativos e por essa razão devem ser exploradas alternativas para a sua minimização.

Realizou-se um estudo para a aplicação de telas para o desvio de águas pluviais com o intuito de reduzir a produção de lixiviados no aterro de Santo Tirso. Este estudo englobou a aplicação de técnicas topográficas para a determinação da área para a aplicação de telas (selecionou-se uma área do aterro) tendo-se obtido uma área 6 818,84 m² referente a dois taludes e uma banquetta no aterro de Santo Tirso. Após a determinação desta área superficial obteve-se, através de um método expedito, a área plana que ronda os 6 376,14 m². A partir desta área plana, ou seja em planta, realizou-se o dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais na base do primeiro e do segundo talude, esse sistema seria composto por meia canas de betão com 400 mm de diâmetro sendo necessário cerca de 571 metros desde material. Os custos associados à aquisição dessas meias canas à empresa BEATAFIEL serão de 1 684,45 €.

Tendo em conta a área de colocação de telas, determinou-se qual a redução na produção de lixiviados esperados, obtendo-se um valor anual 6 596,5 m³, que ao longo de 6 anos permitirá poupar cerca de 708,9 €/mês. Na seleção das telas para a derivação das águas pluviais, foram encontradas várias

soluções de diferentes empresas. Uma consistiam em telas temporárias que não seriam soldadas, mas apenas fixas com sacos de areia ou pneus, outras consistiam na aplicação de geomembrana de PEAD e ainda uma outra solução que consistia num conjunto de telas de polietileno e uma georede.

Tendo em conta a aplicação de uma cobertura temporária, as soluções selecionadas foram a geomembrana de PEAD de 1 mm da ISOPOL ou da BBF com um custo mensal de 348 €/mês em 6 anos, podendo este tipo de tela também ser aplicada na selagem, ao contrário de outras soluções abordadas. No caso da solução de uma tela que fosse mais adequada para a selagem, ou seja, as telas de geomembranas de PEAD de 1,5 e 2 mm, o custo total seria de 447,5 €/mês em 6 anos, tendo em conta a solução da empresa ISOPOL para a geomembrana de 1,5 mm. Pode-se aferir que a melhor solução seria investir um pouco mais no início, mas ter uma solução que permita a utilização na selagem com mais garantias de resistência.

Realizou-se outro estudo sobre o controlo de aves, nomeadamente de gaivotas que se encontram no aterro de Santo Tirso. Abordaram-se várias técnicas como sistemas sonoros de dispersão de aves e recurso a serviços de falcoaria. Estas primeiras têm um custo mais baixo, contudo quando aplicadas isoladamente revelam habituação das aves, não sendo uma boa solução. Deste modo apresentou-se como a melhor solução o recurso a serviços de falcoaria, sendo que a estadia da ave de rapina deveria coincidir com os horários das gaivotas. Deste modo, selecionou-se a empresa ByMap que efetuará um trabalho de 16 meses com um custo mensal de 2 992,5 €.

No estudo realizado sobre a cobertura diária da célula de deposição de resíduos em aterro, abordaram-se duas soluções, uma foi a tecnologia designada de “Enviro Cover System” que consiste na colocação de filme sobre a célula diária e outra consistiu na obtenção de terras para colocação no aterro de Santo Tirso. As soluções são distintas não podendo ser diretamente comparadas, contudo afere-se que para a exploração de um aterro é sempre necessário terra, sendo que até com a aplicação do filme plástico seria necessário terra. Deste modo, a melhor solução passaria por adquirir terra, tendo-se encontrado uma solução numa pedreira em Sanfins, que vende uma mistura de terra e brita de pequena granulometria a um preço de 1 €/t, sendo que o custo de transporte de uma carga seria de 35 €.

Abordou-se também a aplicação da tecnologia de “Landfill Mining” ao aterro de Santo Tirso, em que para tal se realizaram amostragens no sentido de determinar a massa volumica de plástico e metal da zona de deposição diária de resíduos e de uma zona mais antiga do aterro, sendo as massas volumicas obtidas de 116,9 kg/m³ e 200,0 kg/m³, respetivamente. Afere-se que a massa volumica de metal e plástico obtida na zona antiga é 41,6% superior à obtida na zona de deposição diária, isto é expectável uma vez que na zona antiga a matéria orgânica quase já se degradou existindo sobretudo plásticos e metais. Contudo também se conclui que estes valores devem ser mais elevados.

Através das caracterizações dos resíduos da RESINORTE, determinou-se que a quantidade total de plásticos e metais depositados no aterro seria 314 122,7 t, que corresponde pelo menos a um volume de 247 340,7 m³.

Também se realizaram amostragens que permitiam obter valores da percentagem mássica de plástico e metal na zona antiga e na zona de deposição diária de resíduos, sendo os valores obtidos de 71% e 37%, respetivamente. Isto apenas permite aferir que na zona antiga a quantidade de plásticos e metais é bastante superior às quantidades de outros constituintes e que comparativamente com a percentagem mássica da zona de deposição diária o valor é superior pois nessa zona existe uma maior quantidade de matéria orgânica. A percentagem mássica na zona de deposição é muito próxima dos 26,7% em massa de plástico e metal contido no aterro. Tendo em conta a aplicação da técnica do “Landfill Mining”, o aterro de Santo Tirso possui os mecanismos necessários à escavação e transporte para a estação de tratamento mecânico e biológico contudo esta avaliação não se pôde realizar em termos práticos devido a uma avaria na central de tratamento mecânico e biológico. Porém sabe-se que poderiam existir alguns riscos que estavam associados à segurança dos trabalhadores e também a problemas que poderiam surgir, por exemplo com a entrada de pedras no separador balístico. A dificuldade maior estaria porventura no encaminhamento dos materiais para valorização, sabe-se que o encaminhamento para valorização energética seria muito difícil e o próprio encaminhamento para empresas recicladoras poderia ser posto em causa derivado da qualidade dos materiais separados. Face ao potencial desta tecnologia, deveria haver mais estudos para avaliar esta questão.

6.Avaliação do Trabalho Realizado

6.1.Objetivos Realizados

Este trabalho tinha como objetivo analisar a gestão de resíduos no aterro controlado de Santo Tirso e apresentar propostas de ação. Nesse sentido pretendia-se apresentar soluções de melhoria na gestão de lixiviados, este objetivo foi conseguido através da indicação de várias propostas que permitem diminuir a produção de lixiviados, reduzindo custos de tratamento e o impacto ambiental. Também se atingiu o objetivo de apresentação de soluções para o controlo de aves e cobertura da célula diária de deposição de resíduos.

Realizou-se também o estudo da aplicação da tecnologia de “Landfill Mining”, contudo não se pode concluir quanto à viabilidade de aplicação no aterro de Santo Tirso, uma vez que foi impossível a realização de uma validação prática devido à existência de problemas técnicos no tratamento mecânico e biológico.

6.2.Limitações e Trabalho Futuro

A realização deste trabalho foi limitada por diversos fatores, um aterro controlado é uma infraestrutura que se encontra em constante mudança, sendo que aquilo que se aceita como válido numa determinada altura, passado algum tempo pode deixar de o ser.

A maior limitação deste trabalho foi a falta de um levantamento topográfico que permitisse obter áreas e declives mais aproximados com a realidade, tendo que se realizar um levantamento manual e ainda aplicar um método expedito para cálculo das áreas. Uma outra limitação prendeu-se com os dados meteorológicos que foram obtidos a partir da estação de Pedras Rubras, o que origina erros nos cálculos do volume total de água que precipita sobre a área do aterro de Santo Tirso, pois esses dados não são os reais.

No decorrer do trabalho apareceram outras limitações que estavam associadas à dificuldade de realização de verificações práticas de algumas técnicas a aplicar, pelo facto das entidades empresariais não terem disponibilidade de equipamentos ou então ser necessário um dispêndio financeiro por parte da RESINORTE para realizar testes que permitissem aferir quanto à viabilidade de algumas técnicas e equipamentos. No caso do estudo da técnica através do “Landfill Mining” a amostragem não se realizou devido a problemas técnicos na estação de tratamento mecânico e biológico que condicionou o trabalho, não se podendo verificar a viabilidade.

Em trabalhos futuros, no âmbito da aplicação de telas no aterro de Santo Tirso dever-se-ia, após a aplicação das telas no local referido neste trabalho, verificar na realidade a quantidade de água pluvial

desviada e qual a diminuição efetiva na produção de lixiviados. Isto iria permitir verificar a viabilidade efetiva desta aplicação no aterro de Santo Tirso.

No caso do controlo de aves, seria importante no futuro realizar-se um estudo em que se pudesse aferir quanto à viabilidade de diferentes técnicas de controlo aplicadas ao aterro de Santo Tirso e ainda a realização de um estudo mais apurado quanto aos hábitos das aves.

No caso da cobertura, os caminhos que devem ser seguidos prendem-se com a aquisição de terras e avaliação da sua qualidade. Propondo-se que se deverá também estudar outros locais de aquisição, considerando a adequabilidade das terras e as condições de aquisição.

No caso da aplicação da técnica de “Landfill Mining”, seria importante no futuro a realização de testes na estação de tratamento mecânico e biológico que permitissem aferir quanto à aplicabilidade desta técnica no aterro de Santo Tirso.

Referências Bibliográficas

1. **Martinho, Maria e Maria Gonçalves.** *Gestão de Resíduos*. Lisboa : Universidade Aberta, 2000.
2. **Cruz, Maria Leonor.** *A Caracterização de Resíduos Sólidos no âmbito da sua Gestão Integrada*. 2005. Tese de mestrado em Ciências do Ambiente, ramo de Qualidade Ambiental.
3. **Levy, João de Quinhones e Cabeças, Artur João .** *Resíduos Sólidos Urbanos - Princípios e Processos*. s.l. : Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente, 2006.
4. **Ferrão, Paulo Manuel e Pinheiro, Luísa.** *Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2011- 2020*. 2011.
5. **Fernandes, Sara Patrícia .** *Sistema PAYT - Estudo Preliminar para a Implementação numa Área Desnsamente Populacional*. s.l. : FEUP, 2009.
6. **Instituto Nacional de Estatística.** [Online] Instituto Nacional de Estatística,2013.
http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=124267427&att_display=n&att_download=y
[Acedido em Maio de 2013]
7. **Vilão, Regina; Venâncio, Catarina; Gervásio, Inês; Silva, Júlia; Liberal, Patricia; Ribeiro, Rita.** *Relatório de Estado do Ambiente 2012*. s.l. : Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., 2012.
8. **Governo de Portugal.** *Governo de Portugal*. [Online] 2013. <http://www.portugal.gov.pt/pt/os-ministerios/ministerio-da-agricultura-mar-ambiente-e-ordenamento-do-territorio/mantenha-se-atualizado/20130410-seaot-residuos.aspx>. [Acedido em Maio de 2013]
9. **Silva, Francisco; Mateus, Inês; Marçal , Ana; Ricardo, Sílvia; Pires, Susana.** *Resíduos Urbanos - Relatório Anual, 2011*. s.l. : Agência Portuguesa do Ambiente, 2013.
10. **Tchobanoglous, George e Theison, Hilary.** *Integreted Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. s.l. s.l. : The McGraw-Hill Companies, 1993.
11. **RESINORTE S.A.** *Resinorte*. [Online] <http://www.resinorte.pt/conftec/lixiviados>. [Acedido em Abril de 2013]
12. **Internacional Solid Waste Association.** *Landfill Operations Guidelines*. s.l. : ISWA WORKING GROUP AT LANDFILL, 2010.
13. **Veterinária Atual.** *Veterinária Atual*. [Online] 2013.
<http://www.veterinaria-atual.pt/content.aspx?menuid=56&eid=6602>. [Acedido em Maio de 2013]
14. **Eptisa led Consortium.** *Landfill Operations Guidance Manuel*. Brussels : s.n., 2010.
15. **Metropolitan District Commission.** *MANUAL FOR A GUL CONTROL AT MASSACHUSETTS LANDFILLS*. 1998.
16. **DeFusco, Russel.** *A successful case study: The bird control program of Waste Management Outer Loop Recycling and Disposal Facility, Louisville, Kentucky, USA*. s.l. : University of Nebraska, 2007.
17. **Baxter, A. T.** *EFFECTIVENESS OF BEST PRACTICE BIRD CONTROL ON LANDFILL SITES IN RELATION TO GULL FEEDING BEHAVIOUR*. s.l. : Central Science Laboratory, 2005.

18. **Baxter, A. T.** *Evaluation of Bird Control on Landfill Sites:Case Studies from the UK.* s.l. : Central Science Laboratory, 2001.
19. **Volataria, Lda.** *Volataria.* [Online] WD Arte Digital, 2009. <http://www.volataria.com/Clientes.asp>. [Acedido em Maio de 2013]
20. **Cadwallader, Mark.** *Daily Cover Challenges and Solutions at Puente Hills Landfill.* s.l. : EPI Environmental Products Inc., 2010.
21. **Barlow, Claire , Iqbal, Waseem e Ashton, Simon .** *Landfill Mining.* s.l. : University of Cambridge, Institute for Manufacturing, Department of Engineering, 2009.
22. **Tielemans, Yves e Laevers, Patrick.** *Closing the Circle, an Enhanced Landfill Mining case study.* s.l. : Group Machiels, 2010.
23. **Reno San.** *LANDFILL MINING Process, Feasibility, Economy, Benefits and Limitions.* s.l. : Reno San, 2009.
24. **RESINORTE S.A.** *Relatório Ambiental Anual do Aterro Sanitário de Santo Tirso 2011.* 2012.
25. **EGF.** *Mapa de Registo Mensal da Produção de RU Vale do Ave 2010.* 2011.
26. **EGF.** *Mapa de Registo Mensal da Produção de RU Vale do Ave 2011.* 2012.
27. **EGF.** *Mapa de Registo Mensal da Produção de RU Vale do Ave 2012.* 2013.
28. **RESINORTE S.A.** *Relatório Ambiental Anual do Aterro Sanitário de Santo Tirso 2012.* 2013.
29. **RESINORTE S.A.** *Relatório Anual da Avaliação da Atividade Desenvolvida no Aterro Sanitário de Santo Tirso 2010.* 2011.
30. **TRATAVE S.A.** *Termo de Autorização de Ligação ao Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave.* 2012.
31. **SULDOURO S.A.** *Suldouro.* [Online] 2013. <http://www.suldouro.pt/>. [Acedido em Maio de 2013]
32. **RESINORTE S.A.** *Relatório Ambiental Anual Aterro Sanitário de Bigorne.* 2013.
33. **RESINORTE S.A.** *Relatório Ambiental Anual do Aterro Sanitário de Boticas.* 2013.
34. **RESINORTE S.A.** *Relatório Ambiental Anual do Aterro Sanitário de Celorico de Basto .* 2013.
35. **Vogt, Marlise.** *PITÁGORAS, HERON, BRAHMAGUPTA - Fórmulas;Provas;Áreas;Aplicações.* Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
36. **Ferraz, José Miguel.** *Projecto de Rede de Drenagens de Águas Pluviais.* 2009.
37. **Novais-Barbosa, J.** *Mecânica dos Fluidos e Hidraulica Geral.* Porto : Porto Editora, 1985.
38. **PIMACON.** *Pimacon.* [Online] 2013. <http://www.pimacon.com/index.php?pagina=detalhe&ref=TB0204>. [Acedido em Abril de 2013]
39. **BETAFIEL.** *Betafiel.* [Online] 2013. <http://betafiel.pt/pdfs/meiasmanilhas.pdf>. [Acedido em Maio de 2013]
40. **SOTECNISOL.** *Cobertura Temporária Para Aterros Sanitários. SOTECNISOL.* [Online] 2012. http://www.sotecnisol.pt/resources/Ambiente/mailling_COBERTURA_TEMPORARIA_PARA_ATERROS_SANITARIOS.pdf. [Acedido em Maio de 2013]

41. **Reef Industries.** *ReefIndusries*. [Online] Topspot, 2013.
<http://www.reefindustries.com/assets/pdf/tx1600.pdf>. [Acedido em Maio de 2013]
42. **Portugal, Aves de.** *Aves de Portugal*. [Online] CiberAjuda. <http://avesdeportugal.info/>. [Acedido em Maio de 2013]
43. **EPI - Enviromental Productcs Inc.** *EnviroCoverSystem*. [Online] 2011. <http://epi-global.com/>. [Acedido em Maio de 2013]
44. **Christensen, T.H., Cossu, R e Stegmann, R.** *LANDFILING OF WASTE: LEACHATE*. s.l. : E & FN SPON, 1992.

Anexos

Anexo I – Plano de Monitorização, Composição Típica e Qualidade Analítica dos Lixiviados no Aterro de Santo Tirso

Tabela i - Plano de monitorização da qualidade de lixiviados. (adaptado de RESINORTE S.A. (24))

Frequência	Mensal	Trimestral	Semestral
Parâmetros a monitorizar	Volume	Arsénio Total	COT
	Azoto Amoniacal	Cádmio Total	Nitritos
	Cloretos	Carbonatos/Bicarbonatos	Nitratos
	Condutividade	Chumbo Total	Fluoretos
	CQO	Cianetos Totais	Sulfatos
	pH	Crómio Total	Sulfuretos
		Crómio VI	Bário
		Índice de Fenois	Boro
		Mercúrio Total	Ferro Total
		Potássio	Manganês
			Zinco
			Antimónio
			Níquel Total
			Alumínio
			Selénio
			Cálcio
			Magnésio
			Cobre
			Sódio
			AOX
			Hidrocarbonetos Totais

Tabela ii - Composição típica dos lixiviados.(adaptado de Christensen, Cossu e Stegman (44))

Parâmetro	Unidades	Valor Mínimo	Valor Máximo
CQO	mg/L O ₂	150	100 000
CBO₅	mg/L O ₂	100	90 000
pH	Escala Sorensen	5,3	8,5
Alcalinidade	mg/L CaCO ₃	300	11 500
Dureza	mg/L CaCO ₃	500	8 900
Azoto Amoniacal	mg/L NH ₄	1	1 500
Azoto Orgânico	mg/L N	1	2 000
Azoto Total	mg/L N	50	5 000
Nitratos	mg/L NO ₃	0,1	50
Nitritos	mg/L NO ₂	0	25
Fósforo Total	mg/L P	0,1	30
Fosfatos	mg/L PO ₄	0,3	25
Cálcio	mg/L Ca	10	2 500
Magnésio	mg/L Mg	50	1 150
Sódio	mg/L Na	50	4 000
Potássio	mg/L K	10	2 500
Sulfatos	mg/L SO ₂	10	1 200
Cloro	mg/L Cl	30	4 000
Ferro	mg/L Fe	0,4	2 200
Zinco	mg/L Zn	0,05	170
Manganês	mg/L Mn	0,4	50
Cianetos	mg/L CN	0,04	90
AOX	mg/L	320	3 500
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	0,04	44
Arsénio	µg/L As	5	1 600
Cádmio	µg/L Cd	0,5	140
Cobalto	µg/L Co	4	950
Níquel	µg/L Ni	20	2 050
Chumbo	µg/L Pb	8	1 020
Crómio	µg/L Cr	30	1 600
Cobre	µg/L Cu	4	1 400
Mercúrio	µg/L Hg	0,2	50

Tabela iii - Resultados da qualidade analítica dos lixiviados em 2010 - Mensal e Trimestral. (adaptado de RESINORTE S.A. (29))

Parâmetro	Unidades	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
pH	Esc.Sorensen	7,7	8,1	8,3	8,3	7,8	8,1	7,8
Condutividade	µS/cm	27,7	26,9	27,8	30,3	10,5	19	15,7
CQO	mg/l O ₂	9 240	19 700	6 120	15 000	7 220	11 200	12 400
Cloretos	mg/l Cl	3 410	3 370	3 420	3 440	1 220	601	1 280
Azoto A.	mg/l NH ₄	3110	3 650	3 770	3 540	1 100	2 670	1 790
Carbonatos	mg/l CaCO ₃	0		0			0	
Bicarbonatos	mg/l HCO ₃	8 510		10 200			5 700	
Cianetos	mg/l CN	<100		<100			<100	
Arsénio	mg/l As	<5		<5			88	
Cádmio	mg/l Cd	<0,10		<0,1			<0,10	
Crómio	mg/l Cr	2,2		2,2			<0,50	
Crómio Hexavalente	mg/l Cr	<0,3		<0,0060			--	
Mercúrio	µg/l Hg	<0,5		<0,5			<0,50	
Chumbo	mg/l Pb	<0,5		<0,5			<0,50	
Potássio	mg/l k	1 520		6 300			1 050	
Índice de Fenóis	C ₃ H ₅ OH	100		120			54	
COT	mg/l			-			6 120	
Fluretos	mg/l F			<0,3			<0,3	
Nitratos	mg/l NO ₃			182			182	
Nitritos	mg/l NO ₂			<0,05			<0,05	
Sulfatos	mg/l SO ₄			340			340	
Sulfuretos	mg/l S			<50			<50	
Alumínio	mg/l Al			5,7			6	
Bário	mg/l Ba			<10			<10	
Boro	mg/l B			<100			<100	
Cobre T	mg/l Cu			<0,25			<0,25	
Ferro T	mg/l Fe			16,3			16	
Manganês	mg/l Mn			<0,4			<0,40	
Zinco T	mg/l Zn			0,74			1	
Antimónio	mg/l Sb			<1,0			<1,0	
Níquel T	mg/l Ni			0,89			1	
Selénio	mg/l Se			<5			<5	
Cálcio	mg/l Ca			288			288	
Magnésio	mg/l Mg			230			230	
Sódio	mg/l Na			3 700			3 700	
AOX	mg/l			<0,030			<0,03	
Hidrocarbonetos	mg/l			12			12	

Tabela iv - Resultados da qualidade analítica dos lixiviados em 2011 - Semestral. (adaptado de RESINORTE S.A. (24))

Parâmetro	Unidades	Junho	Dezembro
Carbono Orgânico Total	mg/lC	2 740	4 250
Fluoretos	mg/l F	1	<0,30
Nitratos	mg/l NO ₃	194	77
Nitritos	mg/l NO ₂	<0,05	<0,01
Sulfatos	mg/l SO ₄	3 060	330
Sulfureto de Hidrogénio	mg/l S	<0,05	<0,1
Alumínio	mg/l Al	7,2	2,36
Bário	mg/l Ba	<5	<5
Boro	mg/l B	<0,5	1,5
Cobre	mg/l Cu	<0,25	<0,25
Ferro	mg/l C	10,5	28,8
Manganês	mg/l Mn	<0,10	3,54
Zinco	mg/l Zn	0,96	0,79
Antimónio	mg/l Sb	<0,01	0,036
Níquel	mg/l Ni	0,96	<0,50
Selénio	mg/l Se	<5	<5
Cálcio	mg/l Ca	220	47,6
Magnésio	mg/l Mg	3,41	3,9
Sódio	mg/l Na	1 880	1 800
AOX (I)	mg/l Cl	<0,030	<0,030
Hidrocarbonetos Dissolvidos	µg/l	-	-
Hidrocarbonetos Totais	mg/l	11	<5

Tabela v - Resultados da qualidade analítica dos lixiviados em 2011 - Mensal e Trimestral. (adaptado de RESINORTE S.A. (24))

Parâmetro	Unidades	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
pH	Esc.Sorensen		8,3	8,2	8,4	8,5	8,4	8,5	8,4	8,5	8,2	8	8,1
Condutividade	µS/cm		22 800	13 200	20 400	22 000	26 800	22 200	18 700	22 100	14 100	15 000	24 700
CQO	mg/l O ₂		7 190	4 810	6 440	5 020	6 130	7 460	3 460	6 120	5 960	13 700	12 000
Cloretos	mg/l Cl		2 050	8 000	3 010	509	3 950	4 710	3 270	3 790	1 950	2 330	2 470
Azoto A.	mg/l NH ₄		2 920	1 580	2 240	2 740	3 290	3 250	2 520	3 400	2 170	1 830	2 450
Carbonatos	mg/l CaCO ₃			550			3 010			2 720			0
Bicarbonatos	mg/l HCO ₃			3 090			5 830			5 290			7 050
Cianetos	mg/l CN			<0,1			<0,1			<0,1			<0,1
Arsénio	mg/l As			<5			<5			<5			<5
Cádmio	mg/l Cd			<0,10			<0,1			<0,1			<0,1
Crómio	mg/l Cr			<0,50			3,1			3,4			1,72
Crómio Hexavalente	mg/l Cr			-			0,0060			-			<0,005
Mercúrio	µg/l Hg			<0,5			0,6			<0,5			<0,5
Chumbo	mg/l Pb			<0,5			<0,5			<0,5			<0,5
Potássio	mg/l k			34,6			139			817			15,1
Índice de Fenóis	C ₃ H ₅ OH			0,0015			0,026			0,017			0,65

Tabela vi - Resultados da qualidade analítica dos lixiviados em 2012 – Semestral. (adaptado de RESINORTE S.A. (28))

Parâmetro	Unidades	Junho
COT	mg/l	4 580
Fluoretos	mg/l F	1
Nitratos	mg/l NO ₃	112
Nitritos	mg/l NO ₂	<0,5
Sulfatos	mg/l SO ₄	220
Sulfuretos	mg/l S	<0,02
Alumínio	mg/l Al	<5
Bário	mg/l Ba	<0,1
Boro	mg/l B	0,8
Cobre T	mg/l Cu	<0,3
Ferro T	mg/l Fe	5
Manganês	mg/l Mn	1,7
Zinco T	mg/l Zn	0,66
Antimónio	mg/l Sb	0,016
Níquel T	mg/l Ni	0,6
Selénio	mg/l Se	<0,01
Cálcio	mg/l Ca	200
Magnésio	mg/l Mg	89
Sódio	mg/l Na	2 100
AOX	mg/l	0,438
Hidrocarbonetos	mg/l	17

Tabela vii - Resultados da qualidade analítica dos lixiviados 2012 - Semestral e Mensal. (adaptado de RESINORTE S.A. (28))

Parâmetro	Unidades	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
pH	Esc.Sorensen	8,1	8,2	8,3		8	8		8,6	8,6	8,4	8,2	7,6
Condutividade	µS/cm	20 600	29 000	28 000		29 000	32 000		25 000	23 000	18 000	19 000	11 000
CQO	mg/l O ₂	12 700	12 000	8 000		20 000	26 000		4 400	6 200	5 400	7 900	11 000
Cloretos	mg/l Cl	2 510	3 400	4 633		1.748	3 709		4 109	6 119	1 643	5 770	2 109
Azoto A.	mg/l NH ₄	2 920	<4	4 287		3 737	3 376		2 803	1 600	1 600	2 000	981
Carbonatos/Bicarbonatos	mg/l CaCO ₃		71 000				<6			<6			0,019
Cianetos	mg/l CN		<0,05				<0,05			<0,05			<0,05
Arsénio	mg/l As		0,18				0,09			0,09			0,04
Cádmio	mg/l Cd		<0,1				<0,1			<0,10			0,0024
Crómio	mg/l Cr		3,9				0,9			1			0,4
Crómio Hexavalente	mg/l Cr		0,17				<0,02			0,36			<0,02
Mercúrio	µg/l Hg		<0,001				<0,001			<0,001			0,001
Chumbo	mg/l Pb		<1				<1			<1			0,0535
Potássio	mg/l k		1 100				1 200			860			1 020
Índice de Fenóis	C ₃ H ₅ OH		<0,01				<0,01			0,2			<0,01

Anexo II – Constituintes Típicos do Biogás

Tabela viii- Constituintes típicos do biogás gerado num aterro. (adaptado de Tchobanoglous, e Theison, Hilary (10))

Composto	Percentagem (base de volume seco)
Metano	45-60
Dióxido de Carbono	40-60
Azoto	2-5
Oxigénio	0,1-1,0
Sulfuretos, Disulfuretos e Mercaptanos (COVs)	0-1,0
Amoníaco	0,1-1,0
Hidrogénio	0-0,2
Monóxido de Carbono	0-0,2
Constituintes Vestigiais	0,01 – 0,6

Tabela ix - Concentração típica dos constituintes vestigiais do biogás em ppbV. (adaptado de Tchobanoglous, e Theison, Hilary (10))

Composto	Concentração Mínima (ppbV)	Concentração Média (ppbV)	Concentração Máxima (ppbV)
Acetona	0	6 838	240 000
Benzeno	932	2 057	39 000
Clorobenzeno	0	82	1 640
Clorofórmio	0	245	12 000
1,1 – Dicloroetano	0	2 801	36 000
Diclorometano	1 150	25 694	620 000
1,1 -Dicloroetano	0	130	4 000
Cloreto de Dietileno	0	2 835	20 000
Trans – 1,2 Dicloroetano	0	36	850
2,3 - Dicloropropano	0	0	0
1,2 - Dicloropropano	0	0	0
Brometo de Etileno	0	0	0
Dicloreto de Etileno	0	59	2 100
Óxido de Etileno	0	0	0
Etilbenzeno	0	7 334	87 500
Metiletilcetona	0	3 092	130 000
1,1,2 - Tricloroetano	0	0	0
1,1,1 - Tricloroetano	0	615	14 500
Tricloroetileno	0	2 079	32 000
Tolueno	8 125	34 907	280 000
1,1,2,2 - Tetracloroetano	0	246	16 000
Tetracloroetileno	260	5 244	180 000
Cloreto de Vinilo	1 150	3 508	32 000
Estireno	0	1 517	87 000
Acetato de Vinilo	0	5 663	240 000
Xileno	0	2 651	38 000

Anexo III – Dados Meteorológicos dos anos 2010, 2011 e 2012

Tabela x - Dados meteorológicos do ano 2010. (adaptado de RESINORTE S.A. (29)).

Mês	Precipitação Total (mm)	T (°C) Média Mínima	T (°C) Média Máxima	Humidade Relativa Média (%)
Janeiro	177,3	6,6	13,9	79,2
Fevereiro	147,7	6,6	13,6	77,9
Março	165,0	8,2	15,5	70,7
Abril	49,4	11,2	20,5	62,1
Maio	50,0	11,7	20,8	63,0
Junho	53,0	14,3	22,6	72,9
Julho	--	--	--	--
Agosto	4,0	16,0	27,3	57,3
Setembro	13,8	15,1	24,1	67,9
Outubro	210,1	12,2	20,5	72,3
Novembro	167,5	8,3	15,8	78,6
Dezembro	162,0	6,7	13,7	75,3

Tabela xi - Dados meteorológicos do ano 2011. (adaptado de RESINORTE S.A. (24))

Mês	Precipitação Total (mm)	T (°C) Média Mínima	T (°C) Média Máxima	Humidade Relativa Média (%)
Janeiro	134,9	7,6	13,8	75,6
Fevereiro	159,2	6,7	14,8	80,5
Março	69,1	8,8	17,0	66,0
Abril	25,0	12,8	22,6	59,1
Maio	19,7	13,8	23,0	65,1
Junho	4,1	13,9	23,3	52,7
Julho	13,9	14,4	23,1	58,7
Agosto	30,4	15,2	23,9	61,7
Setembro	32,4	14,9	24,1	59,0
Outubro	-	14,8	26,8	43,8
Novembro	233,4	9,6	17,3	65,0
Dezembro	94,5	7,1	14,6	64,8

Tabela xii - Dados meteorológicos de 2012. (adaptado de RESINORTE S.A. (28))

Mês	Precipitação Total (mm)	T (°C) Média Mínima	T (°C) Média Máxima	Humidade Relativa Média (%)
Janeiro	35,0	5,7	14,6	54,9
Fevereiro	5,0	4,1	14,5	46,2
Março	16,5	8,7	19,1	46,7
Abril	95,3	8,6	15,4	61,7
Maio	120,2	12,9	20,2	62,2
Junho	51,1	14,0	21,5	64,0
Julho	7,3	14,0	22,7	59,3
Agosto	67,9	15,1	23,4	61,3
Setembro	45,5	16,3	25,4	53,5
Outubro	154,8	12,2	20,1	64,0
Novembro	89,1	10,2	16,0	60,4
Dezembro	198,1	8,8	14,5	68,3